

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3135918 C2

⑤ Int. Cl. 4:
B23H 7/28

⑳ Aktenzeichen: P 31 35 918.3-34
㉑ Anmeldetag: 10. 9. 81
㉒ Offenlegungstag: 3. 6. 82
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 13. 10. 88

(2)

DE 3135918 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③④
10.09.80 JP P125798-80 17.09.80 JP P129868-80
19.09.80 JP P130166-80 19.09.80 JP P130167-80

⑦③ Patentinhaber:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:
Eitls, W., Dipl.-Ing.; Hoffmann, K., Dipl.-Ing.
Dr.rer.nat.; Lehn, W., Dipl.-Ing.; Fücksle, K.,
Dipl.-Ing.; Hansen, B., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.,
Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:
Ito, Tetsuro, Nagoya, Aichi, JP

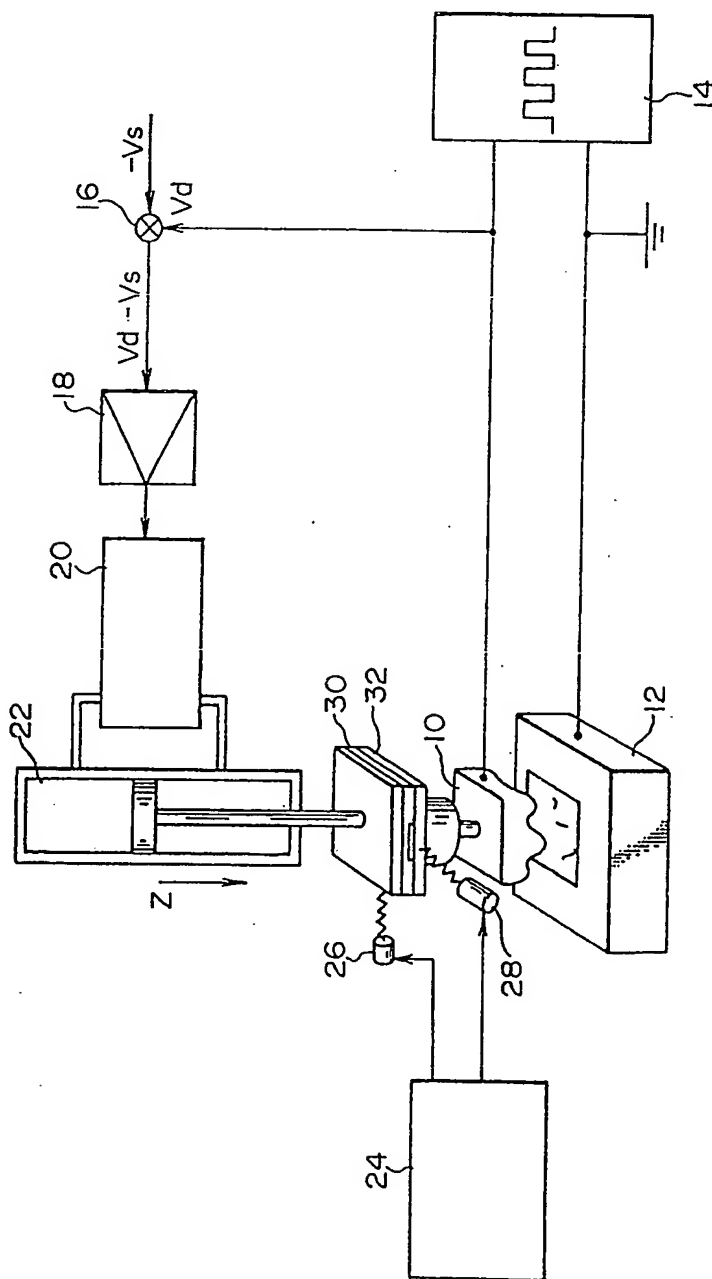
⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

CH 5 88 917
US 39 75 608
US 31 35 852

⑤④ Elektroerosionsvorrichtung

DE 3135918 C2

FIG. 1



Patentansprüche

1. Elektroerosionsvorrichtung, mit einer Bearbeitungselektrode, die sowohl entsprechend einer Vorschubbewegung auf ein Werkstück zugesteuert bewegt werden kann, als auch eine kreisende Bewegung in einer Ebene senkrecht zur Vorschubbewegungsrichtung ausführen kann, mit Mitteln zur Steuerung der Vorschubbewegung, mit Mitteln zur Steuerung der kreisenden Bewegung, mit Mitteln zum Messen der Spannung zwischen der Bearbeitungselektrode und dem Werkstück, und mit einer Vergleichseinrichtung, um den gemessenen Spannungswert mit wenigstens einem Bezugswert zu vergleichen und um abhängig vom Vergleichsergebnis eine Verstellung der Bearbeitungselektrode vorzunehmen, dadurch gekennzeichnet, daß

a) die Vergleichseinrichtung (60, 76, Fig. 9) dazu ausgebildet ist, den gemessenen Spannungswert (V_d) mit einem oberen Grenzwert zu vergleichen, der die eine Bearbeitung ermöglichende Spannung (V_1) darstellt und mit einem unteren Grenzwert zu vergleichen, der eine Kurzschlußdetektorspannung (V_2) darstellt, und

b) die Mittel (24, 40, 42, 44, 46, 47, 48) zur Steuerung der kreisenden Bewegung der Bearbeitungselektrode (10) von der Vergleichseinrichtung (Fig. 9) derart ansteuerbar sind, daß die Radien der Kreisbewegung der Bearbeitungselektrode abhängig vom Vergleichsergebnis verändert werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Differentialwandler (34), der mit der Elektrode (10) verbunden ist, um die Position der Elektrode in einer vorbestimmten Richtung festzustellen, und durch Vergleichsauswahlmittel (36), die mit dem Differentialwandler (34) verbunden sind, um bevorzugt den niedrigeren Spannungswert der Differenzspannung zwischen einer dem Bearbeitungsspalt entsprechenden Spannung zwischen Elektrode (10) und Werkstück (12) und einer Bezugsspannung und dem Ausgangswert vom Wandler (34) auszuwählen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Steuerung der kreisenden Bewegung einen Zweiphasenoszillator (40) enthalten, der Sinuswellen mit 90° -Phasendifferenz abgibt, ferner eine Steuerschaltung (42), die abhängig von den Ausgangssignalen des Oszillators (40) arbeitet, um die Ausgangssignale des Oszillators (40) entsprechend einem Zwischenelektrodenspannungsdetektorsignal zu steuern und Ausgangssignale für vorbestimmte Exzenterradien der Kreisbewegung der Elektrode (10) zu erzeugen. Additionsmittel (44, 46), die auf Ausgangsgrößen von der Steuerschaltung (42) und Ausgangsgrößen von Linearpotentiometern (R_x , R_y) ansprechen, die an der Elektrode (10) befestigt sind, um die Position der Elektrode in einer Ebene senkrecht zur Primärbearbeitungsrichtung der Elektrode zu erfassen, und auf die Ausgangssignale der Additionsmittel (44, 46) ansprechende Antriebsmittel (26, 28) zum Antrieb der Elektrode (10) in Quer- und Längsrichtung.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekenn-

zeichnet, daß der Zweiphasenoszillator (40) Integrationsmittel mit einem ersten Operationsverstärker (Q_1), einen zwischen den Umkehreingang des Verstärkers und Masse eingeschalteten Widerstand (R) und einen Kondensator (C) aufweist, der zwischen den Verstärkerausgang und den Umkehreingang geschaltet ist, ferner eine begrenzende Umkehrintegrationsschaltung mit einem zweiten Operationsverstärker (Q_2), einen zwischen den Ausgang des ersten Operationsverstärkers (Q_1) und den Umkehreingang des zweiten Operationsverstärkers (Q_2) eingefügten zweiten Widerstand (R), einen zwischen den Ausgang und den Umkehreingang des zweiten Operationsverstärkers (Q_2) eingefügten Kondensator (C) und spannungsbegrenzende Zenerdioden (ZD_1 , ZD_2), die in Gegenreihenschaltung zueinander parallel zum zweiten Kondensator (C) liegen, wobei die Integrationsschaltung mit der Umkehrintegrationsschaltung in Kaskade in einer Rückkopplungsschleife geschaltet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung (42) folgende Merkmale enthält: ein erstes UND-Gatter (62), das die Ausgangssignale eines ersten und des zweiten Komparators (60, 76) der Vergleichseinrichtung und einen Taktimpuls (CP) zugeführt erhält, um den Taktimpuls weiterzuleiten; einen Inverter (64), der das Ausgangssignal des ersten Komparators (60) umkehrt; ein zweites UND-Gatter (66) das das Ausgangssignal des zweiten Komparators (76) und des Inverters (64) sowie den Taktimpuls (CP) erhält, um diesen weiterzuleiten; einen Taktimpulsgenerator (68), der eine Taktimpulsfolge synchron mit dem Zweiphasenoszillator (40) erzeugt; einen ersten Zähler (79), dem das Ausgangssignal des zweiten UND-Gatters (66) zum Zählen zugeführt wird; einen zweiten Zähler (74), dem das Ausgangssignal des ersten Zählers (79) zum Zählen zugeführt wird; und einen ersten und einen zweiten A/D-Wandler (78X, 78Y), der die Ausgangssignale vom ersten und zweiten Zähler (70, 74) mit den Ausgangssignalen (E_n , e_n) des Zweiphasenoszillators (40) multipliziert.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Steuerung der kreisenden Bewegung so ausgebildet sind, um eine schnellere Kreisbewegungsgeschwindigkeit für das Werkzeug oder die Elektrode (10) auszuwählen, wenn wenigstens zwei Kreisbewegungsgeschwindigkeiten vorgegeben sind und die Mittel zur Messung der Spannung zwischen der Bearbeitungselektrode und dem Werkstück einen fehlerhaften Bearbeitungszustand feststellen, und die langsamere Kreisbewegungsgeschwindigkeit auswählen, wenn die genannten Mittel keinen fehlerhaften Bearbeitungszustand ermitteln.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 3 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung (42) eine Primärverzögerungszeitkonstantenschaltung aufweist, in der ein Widerstand (80) zwischen den Ausgang eines zweiten Komparators (76) und den Umkehreingang eines dritten Komparators (84) und den Kondensator zwischen den Umkehreingang des dritten Komparators (84) mit dem Ausgang der Primärverzögerungszeitkonstantenschaltung (80, 82) an seinem Umkehreingang und einer Bezugsspannung an seinem Direkteingang

zum Vergleich mit dem Ausgangssignal der Primärverzögerzeitkonstantenschaltung gespeist ist, daß ein Transistor (88) mit seiner Basis mit dem Ausgang des dritten Komparators (84) und mit seinem Kollektor mit einer positiven Spannungsquelle verbunden ist, daß eine Lampe (86) an den Emitterausgang des Transistors (88) angeschlossen ist und daß wenigstens eine photoelektrische Zelle (50, 52) vom Licht der Lampe (86) beaufschlagbar ist, wodurch ihr Widerstandswert herabgesetzt wird und damit die Schwingfrequenz der Ausgangssignale des Zweiphasenoszillators (40) ansteigt.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Elektroerosionsvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Eine derartige Elektroerosionsvorrichtung ist aus der US-PS 31 35 852 bekannt. Die bekannte Elektroerosionsvorrichtung umfaßt eine Bearbeitungselektrode, die sowohl entsprechend einer Vorschubbewegung auf ein Werkstück zugesteuert bewegt werden kann als auch eine kreisende Bewegung in einer Ebene ausführen kann, die senkrecht zur Vorschubbewegungsrichtung verläuft. Ferner sind Mittel zur Steuerung der Vorschubbewegung und zur Steuerung der kreisenden Bewegung und auch Mittel zum Messen der Spannung zwischen der Bearbeitungselektrode und dem Werkstück vorgesehen. Mit Hilfe einer Vergleichseinrichtung wird die zwischen der Bearbeitungselektrode und dem Werkstück gemessene Spannung mit wenigstens einem Bezugswert verglichen, wobei abhängig vom Vergleichsergebnis eine Verstellung der Bearbeitungselektrode vorgenommen wird. Die kreisende Bewegung wird bei dieser bekannten Elektroerosionsvorrichtung mit Hilfe eines spezifischen Mechanismus in eine translatorische Bewegung umgewandelt.

Aus der CH-PS 5 88 917 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum elektroerosiven Feinbearbeiten von Innen- oder Außenwandungen einer Werkstückkontur mittels einer Elektrode bekannt, die sowohl in Richtung ihrer Längsachse als auch in einer quer zur Längsachse liegenden Ebene bewegbar ist. Das wesentliche dieses bekannten Verfahrens besteht darin, daß man mit der Elektrode bis zur gewünschten Feinbearbeitungstiefe geradlinig in bzw. über das Werkstück fährt und dann die Elektrode durch Bilden einer Kurbel mit veränderlicher Exzentrizität innerhalb der genannten Ebene bis zum Erreichen des gewünschten Arbeitsspaltes zwischen Elektrode und Werkstückswandung verstellt und daß man dann, bei einer festen Zuordnung zwischen der Bewegung der Elektrode in ihrer Längsachse und der Verstellung der Exzentrizität, durch Antrieb eines Exzenterstückes zur Rotation, der Elektrode eine translatorische Bewegung innerhalb der erwähnten Ebene beim Bearbeiten der Elektrode verleiht. Bei dieser bekannten Vorrichtung wird die translatorische Bewegung auf mechanische Weise realisiert.

Aus der US-PS 39 75 608 ist eine Elektroerosionsvorrichtung bekannt, bei der ebenfalls eine kreisende Bewegung einer Bearbeitungselektrode realisiert wird, wobei diese kreisende Bewegung eine ganz bestimmte Bahn (Spirale) beschreibt, so daß der Radius der kreisenden Bewegung kontinuierlich geändert wird. Die gleiche Bearbeitungselektrode kann auch dazu verwendet werden, eine Grobbearbeitung des Werkstücks durchzuführen. Der Verlauf der spiralförmigen Bewegung ist bei dieser bekannten Vorrichtung fest vorgege-

ben und wird mit Hilfe von Elektromotoren und einer entsprechend ausgebildeten Steuereinrichtung realisiert.

Es wurden ferner Verfahren und Vorrichtungen für die Elektroerosionsbearbeitung gemäß nachfolgender Beschreibung vorgeschlagen, mit denen sowohl die Grobbearbeitung als auch die Feinbearbeitung eines Werkstücks mit nur einer Bearbeitungselektrode vorgenommen werden können. Bei einer derartigen Bearbeitung wurde nach der Grob- oder Anfangsbearbeitung eines Werkstücks ein Sekundärbearbeitungsvorschub in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zur Grobbearbeitungsrichtung z. B. in Form einer Kreisbewegung ausgeführt, die der Elektrode oder dem Werkstück erteilt wurde, und das Werkstück wurde dadurch mit derselben Bearbeitungselektrode, die auch für die Grobbearbeitung verwendet wurde, fertigbearbeitet, wobei dieselbe Wirkung erzielt wurde wie mit einer Bearbeitungselektrode mit größeren Abmessungen. Ein Ausführungsbeispiel einer derartigen Elektroerosionsvorrichtung ist in Fig. 1 gezeigt.

In der Fig. 1 steht eine Bearbeitungselektrode 10 einem Werkstück 12 in einer isolierenden Bearbeitungslösung oder -flüssigkeit gegenüber. Von einer Impulsstromquelle 14 wird ein Impulsstrom zugeführt, der seinen Weg über einen Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück nimmt, und das Werkstück 12 wird auf diese Weise aufgrund einer dadurch entstehenden elektrischen Entladung ausgehöhlt. Währenddessen wird eine Spannung V_d entsprechend dem Bearbeitungsspalt und eine Bezugsspannung V_s einer Spannungsdifferenzschaltung 116 zugeleitet, die ihrerseits ein Differenzspannungsausgangssignal $V_d - V_s$ hat. Dieser Spannungsausgang $V_d - V_s$ wird anschließend einem Verstärker 18 zugeleitet, der die Differenzspannung $V_d - V_s$ des Differenzbildungskreises 16 verstärkt und ein verstärktes Differenzspannungssignal $V_d - V_s$ an ein hydraulisches Servoventil 20 abgibt, wodurch diese gemäß der Differenzspannung $V_d - V_s$ gesteuert wird. Es wird damit ein Hydraulikzylinder 22 vom Servoventil 20 gesteuert, wodurch wiederum die Elektrode 10 gesteuert wird, die unter Zwischenschaltung von X-Y-Richtungsführungen 30 und 32 an einer Kolbenstange in einem Servomechanismus gehalten ist, so daß die Spannung V_d mit der Bezugsspannung V_s in Übereinstimmung gebracht wird und damit die Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück 12 in der Hauptbearbeitungsrichtung oder in der Z-Achsen-Richtung bewegt wird. Die Differenzspannungsschaltung 16 und der Verstärker 18 bilden einen Servokreis, und das hydraulische Servoventil 20 und der Hydraulikzylinder 22 stellen einen Servomechanismus dar.

Nachdem das Werkstück durch die Elektrode 10 bis zu einer Tiefe, die geringfügig weniger als die vorgesehene Endtiefe ist, grob- oder vorbearbeitet worden ist und damit der Grobbearbeitungsschritt abgeschlossen ist, wird die Impulsstromquelle 14 auf einen schwächeren Impulsstrom umgeschaltet. Außerdem erzeugt die Elektrodenbewegungs-Steuervorrichtung 24 Ausgangssignale für die beiden Servomotoren 26 und 28 in allgemein bekannter Weise. Die Servomotoren 26 und 28 bewegen daraufhin ihrerseits die X-Y-Führungen 30 und 32 in Richtung der X-Achse und der Y-Achse, wodurch eine Kreisbewegung erzielt wird, mit der die Fertigbearbeitung des Werkstücks mit der Elektrode 10 durchgeführt wird. Für diesen Fall erhalten die Servomotoren 26 und 28 Sinusspannungen mit einer Phasenverschiebung von $\pi/2$ zugeführt, deren Amplituden den

Spaltgrößen zwischen Elektrode und Werkstück bei Grobbearbeitung und Finishbearbeitung angepaßt sind. Das Werkstück 12 wird anschließend abermals auf die vorgesehene Tiefe bearbeitet, während die Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück 12 sich in einer überlagerten Kreisbewegung bewegt. Während die Elektrode so gegenüber dem Werkstück 12 bewegt wird, daß sie in ihrer Größe dem Durchmesser der relativen Kreisbewegung entsprechend vergrößert scheint, kann die grobbearbeitete Oberfläche in der Werkstückausenkung, die im Primärbearbeitungsschritt entstanden ist, durch eine Finishbearbeitung geglättet werden.

Für den Fall, daß ein Werkstück 12 bearbeitet wird, um ein Loch auszubilden, wie in Fig. 2 gezeigt, das einer Bearbeitungselektrode 10 mit elliptischem Querschnitt entspricht, ist die Materialmenge des Werkstücks 10, die entfernt werden muß, an der Stelle mit dem kleineren Krümmungsradius der Elektrode 10 wesentlich größer als im Bereich des großen Krümmungsradius. Folglich wird mit fortschreitender Aushöhlung des Werkstücks 12 die Tiefe des im Werkstück 12 herausgearbeiteten Loches im Bereich des größeren Krümmungsradius anders, wie in Fig. 3 gezeigt, als im Werkstückbereich, in dem das Loch den kleineren Krümmungsradius hat. Wenn also in einem Werkstück durch Entladungsbearbeitung ein tiefes Loch ausgearbeitet werden soll, dann kann die bei der anfänglichen Grobbearbeitung entstehende Oberfläche nicht hinreichend mit dem anschließenden Finishbearbeitungsschritt im Werkstück ausgeschaltet werden, und die Tiefe der Elektrode 10, mit der sie bei der Finishbearbeitung in das Werkstück eindringt, unterscheidet sich stark von der Tiefe des so hergestellten Loches, und zwar abhängig von der Gestalt der Elektrode, was einen beträchtlichen Nachteil darstellt.

Es wurde zur Vermeidung dieses Mangels bei herkömmlichen Elektroerosionsverfahren und -einrichtungen deshalb folgender Elektroerosionsablauf vorgeschlagen. Die Fig. 4 stellt ein Erläuterungsdiagramm des Prinzips einer derartigen Elektroerosionsvorrichtung dar. Der Grund für den oben dargestellten Nachteil bei der Form der Bearbeitung gemäß Fig. 2 ist im Unterschied der Bearbeitungsgrenzlinien in der X-Y-Ebene gegenüber der Z-Achse zu suchen. Wenn die Radien der Kreisbewegung, die den X-Y-Führungen 30 und 32 aufgezwungen werden, nicht anfänglich auf die Größen eingestellt werden, die den vorbestimmten Bearbeitungsgrenzen entsprechen, sondern allmählich vom Wert Null aus gesteigert werden, dann befindet sich die Elektrode anfangs in der tiefsten Position, die sie bei der Bearbeitung in die Tiefe einnimmt, und wird nun in ihrer Bewegung in zunehmendem Maße von dieser Stellung aus abgelenkt. Daraus folgt, daß der Unterschied im Krümmungsradius, wie er in der Fig. 3 gezeigt ist, nicht auftreten kann. Die in der Fig. 4 gezeigte Spiralbewegung stellt den Ort der Relativbewegung zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 gemäß dieses Elektroerosionsverfahrens dar und zeigt die gesteigerte Bearbeitungsgrenzlinie bei jeder kreisförmigen Bewegung, die um ΔR ausgeweitet wird.

Wenn die Ausweitung ΔR auf einen äußerst kleinen Wert eingestellt wird, dann wird bei jeder Kreisbewegung das Maß der Abarbeitung äußerst klein, so daß die für die Bearbeitung aufgewandte Energie ausreicht, um das Werkstück mit der Elektrode gleichmäßig auszuarbeiten. Eine so geringe Bearbeitungsenergie führt jedoch dazu, daß der Bearbeitungsvorgang sehr lange dauert und der Wirkungsgrad der Bearbeitung schlecht

ist. Wird zur Vermeidung dieses Nachteils der Wert ΔR bei der Elektrodenbewegung erhöht, dann wird die Bearbeitungsgrenzlinie des Werkstücks erweitert mit der Folge erhöhter Ausarbeitung im Werkstück, wodurch die Ausarbeitungskapazität der Elektrode überschritten wird, was wiederum zu ungleichmäßiger Tiefe der Ausfüllung im Werkstück gemäß Fig. 3 führt. Es ist deshalb stets erforderlich, das vergrößerte Bearbeitungsausmaß des Werkstücks nach dem Bearbeitungszustand der Elektrode zu richten.

Bei einem solchen Elektroerosionsvorgang ist mit dem Austrag von Spänen und Metallschlamm aufgrund des zunehmenden und abnehmenden Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück bei der Kreisbewegung der Elektrode gegenüber dem Werkstück zu rechnen, und es ist folglich nötig, die Abgabe von Spänen und Schlamm durch Vergrößern der Breite bei der Vergrößerung des Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück zu festigen und die Kreisbewegung der Elektrode gegenüber dem Werkstück zu beschleunigen, wenn aufgrund eines Kurzschlusses oder dergleichen der Bearbeitungszustand sich verschlechtert. Wenn jedoch die Kreisbewegung der Elektrode gegenüber dem Werkstück weiter erhöht wird, folgt die Elektroerosionsvorrichtung nicht mehr einem Steuerungsschema, was zu einer Verschlechterung der Bearbeitungsgenauigkeit zwischen Elektrode und Werkstück führt. Eine einfache Verstärkung der Kreisbewegung der Bearbeitungselektrode ist also nicht zulässig.

Eine Vergrößerung einfach der Bearbeitungsgrenze ΔR für den Fall der Tieflochbearbeitung gemäß Fig. 4 erlaubt vorzugsweise eine Bearbeitung mit einer kleinen Bearbeitungsgrenze, führt jedoch im Falle eines großen Bearbeitungsspielraumes zu dem in Verbindung mit Fig. 3 dargelegten Problem und im schlimmsten Fall dazu, daß die Elektrode 10 am Werkstück 12 anstößt und dieses abreißt, wobei zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 ein Kurzschluß auftritt.

Da die Bearbeitungselektrode 10 gewöhnlich aus einem Material hergestellt ist, das nicht abriebfest ist, wie Kupfer oder Graphit, wird die Elektrode durch Abrieb oder Kratzstellen beschädigt, wenn das oben beschriebene Phänomen auftritt. Man setzt deshalb möglichst die Geschwindigkeit der Kreisbewegung der Elektrode 10 herab, wenn der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 klein ist, damit die Elektrode in diesem Fall Zeit genug hat, nach oben auszuweichen, während bei einem großen Bearbeitungsspalt die Geschwindigkeit der Kreisbewegung der Elektrode 10 erhöht wird, damit die im Spalt vorhandenen Späne und der Metallstamm gut ausgespült werden. Wenn ein Kurzschluß oder eine abnorme elektrische Entladung zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 auftritt, ist es nötig, den Radius der Elektrodenkreisbewegung zu verkleinern und dadurch die Kreisbewegungsgeschwindigkeit der Elektrode zu steigern, um damit die Bearbeitungsspäne und den Metallschlamm aus dem Bearbeitungsspalt herauszufördern. Herkömmliche Entladungsbearbeitungsvorrichtungen sind jedoch nicht in der Lage, derart komplizierte Vorgänge zu steuern.

Der schlimmste Nachteil bei der herkömmlichen Entladungsbearbeitung besteht jedoch im Verbrauch der Bearbeitungselektrode 10. Die Fig. 5A bis 5C zeigen Beispiele der bei der üblichen Entladungsbearbeitung auftretenden Nachteile. Wenn das Maß der Erweiterung des Radius der Kreisbewegung der Bearbeitungselektrode 10 gegenüber dem Werkstück erhöht wird, wie dies bei der Tieflochbearbeitung der Fall ist, tritt

zwischen der Seitenfläche der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 ein Kurzschluß auf, wie in Fig. 5A gezeigt. Die Elektrode 10 wird dann in Richtung des Grob-
bearbeitungsvorschubs, also in Z-Achsen-Richtung, angehoben, und nachdem der Kurzschlußzustand beseitigt ist, wird die Elektrode 10 wieder abgesenkt, wie in Fig. 5C gezeigt, wobei das Werkstück 12 dann ausgehöhl-
t wird. Da eine elektrische Entladung hierbei am Ende der Elektrode auftritt, erfolgt der Abarbeitungs-
vorgang nur an dem Ende der Elektrode 10, so daß diese örtlich an dem Ende verbraucht wird, was zur Folge hat, daß die Bearbeitungsgenauigkeit für das Werkstück 12 schlechter wird.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe besteht darin, eine Elektroerosionsvorrichtung der angegebenen Gattung zu schaffen, die bei einem hohen Bearbeitungswirkungsgrad eine verbesserte Endbearbeitung einer zu bearbeitenden Werkstücksfläche ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichnungsteil des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale gelöst.

Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 7.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Hinweis auf die Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein Erläuterungsschaubild, das ein herkömmliches Elektroerosionsverfahren und eine dafür verwendete Vorrichtung zeigt, bei denen die Elektrode gegenüber einem Werkstück verlagert wird;

Fig. 2 das Schaubild einer bestimmten Elektrodenform der herkömmlichen Elektroerosionsvorrichtung;

Fig. 3 ein Diagramm zur Darstellung eines mit der in Fig. 2 gezeigten Elektrode in Verbindung stehenden Nachteils;

Fig. 4 das Schaubild des geometrischen Ortes der Elektrode, wenn dieser eine Kreisbewegung mit automatischer Erweiterung des Radius erteilt wird;

Fig. 5A bis 5C nacheinander die einzelnen Bewegungsphasen der Elektrode, wenn zwischen ihr und dem Werkstück ein Kurzschluß auftritt;

Fig. 6 das Schaubild einer bevorzugten Ausführungsform einer Elektroerosionsvorrichtung mit Merkmalen nach der Erfindung;

Fig. 7 ein Erläuterungsdiagramm, das die Steuervorrichtung für die X-Y-Führungen zeigt, welche in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendet werden;

Fig. 8 die Schaltung des Zweiphasenoszillators der Steuervorrichtung;

Fig. 9 das Schaubild der Steuerschaltung des Zweiphasenoszillators;

Fig. 10 das Schaltbild eines anderen Ausführungsbeispiels der Steuerschaltung für den Zweiphasenoszillator;

Fig. 11 das Schaltbild eines wiederum anderen Ausführungsbeispiels der Steuerschaltung für den Zweiphasenoszillator;

Fig. 12 das Schaltbild eines nochmals anderen Ausführungsbeispiels der Steuerschaltung für den Zweiphasenoszillator.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der Elektroerosionsvorrichtung mit Merkmalen nach der Erfindung wird anhand der Zeichnung und insbesondere der Fig. 6 beschrieben, wobei die bereits in den vorhergehenden Figuren verwendeten Bezugszeichen für entsprechende Bauteile beibehalten sind. Ihre Beschreibung kann deshalb an dieser Stelle unterbleiben.

In Fig. 6 werden Signale von einer elektrischen Bewegungssteuervorrichtung 24 an Servomotoren 26 und 28 abgegeben, die hierdurch angetrieben werden und ihrerseits die X-Y-Führungen 30 und 32 in Richtung der X-Achse bzw. der Y-Achse in Bewegung setzen, wodurch die Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück 12 eine Kreisbewegung ausführt, wie dies bereits in Verbindung mit der Vorrichtung nach Fig. 1 beschrieben wurde.

Die Elektroerosionsvorrichtung enthält einen Differentialwandler 34, der einen Wicklungsabschnitt besitzt, welcher am feststehenden Teil der Vorrichtung befestigt ist, sowie einen bewegbaren Eisenkern, der so gestaltet und angeordnet ist, daß er dieselben Bewegungen wie die Elektrode 10 ausführt, so daß mit ihm die Höhe oder Position der Elektrode 10 in Richtung der Z-Achse festgestellt werden kann.

Die Elektroerosionsvorrichtung weist außerdem Vergleichsauswahlmittel 36 auf, die der Schaltung 12 in Fig. 1 der japanischen Patentanmeldung 32 112/1978 gleich sind. Die Vergleichsauswahlmittel 36 dienen dazu, bevorzugt die niedrigere Spannung der Differenzspannung $V_d - V_s$ zwischen der Spannung V_d des Bearbeitungspaltes zwischen Werkstück 12 und Elektrode 10 und einer Bezugsspannung V_s und der Ausgangsspannung des Wandlers 34 auszuwählen, um die Differenzspannung $V_d - V_s$ über eine Diode 36a an einen Verstärker 37 zu geben, wenn die Differenzspannung $V_d - V_s$ positiv ist, dagegen die Differenzspannung $V_d - V_s$ über einen Widerstand 36b dem Verstärker 37 zuzuführen, wenn sie negativ ist. Da die Differenzspannung $V_d - V_s$ nur dann negativ wird, wenn die Spannung V_d aufgrund eines Kurzschlusses zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 abgenommen hat, ist die Bezugsspannung V_s in geeigneter Weise eingestellt, damit die negative Komponente der Differenzspannung $V_d - V_s$ auf einen niedrigen Wert gedrückt wird. Auf diese Weise wird bei richtig verlaufendem Bearbeitungsvorgang die Elektrode 10 mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit gesteuert abgesenkt, und wenn ein Kurzschluß auftritt, wird die Elektrode 10 mit äußerst geringer Geschwindigkeit angehoben.

Die Vergleichsauswahlmittel 36 arbeiten, wie im einzelnen in der genannten japanischen Patentanmeldung 32 112/78 beschrieben, um die Stellung der Elektrode 10 gemäß der Spannungsdifferenz $V_d - V_s$ zwischen der Spannung V_d des Bearbeitungspaltes zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 und der Bezugsspannung V_s zu steuern für den Fall, daß die Elektrode 10 höher als eine vorgegebene Position steht, wenn die Position des Spulenabschnitts des Differentialwandlers 34, der mit dem feststehenden Teil der Vorrichtung fest verbunden ist, zuvor bestimmt worden ist, und um vorzugsweise den Ausgangswert des Differentialwandlers 34 zu wählen, wenn die Elektrode 10 auf die vorbestimmte eingestellte Position abgesenkt ist. Die Elektrode 10 wird durch einen Servomechanismus so gesteuert, daß sie abwärts nicht unter diese vorgegebene Position abgesenkt wird; dieser Servomechanismus enthält das Servoventil 20 und den Hydraulikzylinder 22.

Ein Ausführungsbeispiel für die Elektrodenbewegungssteuereinrichtung 24 der X-Y-Führungen 30, 32 ist in Fig. 7 dargestellt. Die Steuereinrichtung 24 enthält einen Zweiphasenoszillator 42, der Sinuswellen e_x und e_y hervorbringt, die eine 90°-Phasenverschiebung zueinander haben, einen Steuerkreis 42, der die Ausgangsgrößen e_x und e_y des Zweiphasenoszillators 40 entsprechend einem Zwischenelektroden-Spannungs-Detek-

torsignal V_d' von der Impulsstromspeisequelle 14 steuert und Spannungsausgänge E_x und E_y gemäß gewünschten Exzenterradien erzeugt, Additionspunkte 44 und 46 zum Addieren der Spannungsausgänge E_x und E_y von der Steuerschaltung 42 mit den Ausgangsspannungen von linearen Potentiometern R_x und R_y , die auf die X-Y-Führungen 30, 32 befestigt sind, so daß mit ihnen die Position der Elektrode 10 in X-Y-Ebene festgestellt werden kann, und Verstärker 47 und 48 zum Verstärken der Ausgangsgrößen der Additionspunkte 44 und 46 und zum Erzeugen von Motortreiberausgängen für den X-Achsen- und den Y-Achsen-Motor 26 bzw. 28, wodurch diese Motoren 26 und 28 angetrieben werden. Da die Ausgangsspannungen der Potentiometer R_x und R_y auf die Additionspunkte 44 und 46 rückgeführt werden, werden die Motoren 26 und 28 so lange angetrieben, bis die Ausgangssignale von den Additionspunkten 44 und 46 zu "0" werden, wodurch die Positionen der Führungen so gesteuert werden, daß sie den Ausgangsgrößen E_x und E_y der Steuerschaltung 42 gleich werden.

Fig. 8 zeigt ein genaues Schaltbild des Zweiphasenoszillators 40 in der Steuervorrichtung 24. Der Zweiphasenoszillator 40 enthält eine Integrationsschaltung mit einem Operationsverstärker Q_1 , einem Widerstand R , der zwischen den Umkehreingang des Verstärkers Q_1 und Masse gelegt ist, und einem Kondensator C zwischen Umkehreingang und Ausgang des Verstärkers Q_1 . Ferner ist eine begrenzendende Inversionsintegrationsschaltung vorhanden, die einen Operationsverstärker Q_2 , einen Widerstand R zwischen Ausgang des Operationsverstärkers Q_1 und Umkehreingang des Verstärkers Q_2 , einen Kondensator C zwischen Ausgang und Umkehreingang des Verstärkers Q_2 und spannungsbegrenzende Zenerdioden ZD_1 und ZD_2 in Gegenreihenschaltung zueinander und parallel zum Kondensator C aufweist, wobei die Integrationsschaltung in einer Rückkopplungsschleife bildet, die durch folgende Differentialgleichungen beschrieben wird:

$$RC \frac{d}{dt} e_x = e_y, \quad (1)$$

$$RC \frac{d}{dt} e_y = e_x. \quad (2)$$

In der Schaltung ist die Zeitkonstante $R \times C$ absichtlich größer als RC , wodurch die Schaltung leicht instabil wird. Die spannungsbegrenzenden Zenerdioden ZD_1 und ZD_2 dienen dazu, die Deformation der Wellenformen von e_x und e_y zu eliminieren und dadurch ihre Amplitude zu stabilisieren. Die zwei so erhaltenen Ausgangsgrößen e_x und e_y haben eine Phasenverschiebung von 90° , was durch folgende Gleichungen zum Ausdruck kommt:

$$e_x = E \sin \frac{t}{RC}, \quad (3)$$

$$e_y = E \cos \frac{t}{RC}. \quad (4)$$

Hierin stellt E die Spannung der spannungsbegrenzenden Zenerdioden ZD_1 und ZD_2 dar. Bei der Schaltung sind an den beiden Enden der Widerstände R äußere Klemmen vorgesehen, womit die Frequenz der Integrationskreise eingestellt werden kann. Äußere Widerstände 50 und 52 sind mit diesen Klemmen verbunden. Die Frequenz der Schaltung kann durch Wahl der Widerstandswerte der äußeren Widerstände 50 und 52 gesteuert werden.

Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel werden als äußere Widerstände 50 und 52 photoleitfähige Zellen verwendet, so daß die Frequenzsteuerung der Schaltung durch äußere Lichtbestrahlung vorgenommen werden kann.

Fig. 9 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der Steuerschaltung 42 in der Steuervorrichtung 24 als Schaltbild. Während der Elektroerosionsbearbeitung zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 fällt, ganz allgemein gesagt, das Detektorsignal V_d' einer Zwischenelektrodenspannung in einen vorbestimmten Bereich. Wenn der Bearbeitungsspalt größer wird, dann wird das Detektorsignal der Zwischenelektrodenspannung V_d' größer. Wird der Spalt größer als ein vorgegebener Wert, dann kann eine gewünschte Entladung unmöglich werden. Das Zwischenelektrodenspannungsdetektorsignal wird in diesem Augenblick als ein die Bearbeitung zulassendes Spannungssignal V_1 definiert. Tritt ein Kurzschluß zwischen der Elektrode und dem Werkstück im Laufe der Bearbeitung auf, dann wird das Zwischenelektrodenspannungsdetektorsignal V_d' verringert und wird kleiner als ein bestimmter Spannungswert. In diesem Zeitpunkt wird dann das Zwischenelektrodenspannungsdetektorsignal als Kurzschlußdetektorspannung V_2 definiert. Wenn die die Bearbeitung ermöglichende Spannung V_1 und die Kurzschlußdetektorspannung V_2 bestimmt sind, und mit dem Zwischenelektrodenspannungsdetektorsignal V_d' verglichen werden, kann festgestellt werden, ob der Elektroerosionsvorgang richtig geführt wird oder nicht.

Das Zwischenelektrodenspannungsdetektorsignal V_d' wird dem Umkehreingang eines Komparators 60 zugeleitet, während das die Bearbeitung ermöglichende Spannungssignal V_1 dem Direkteingang des Komparators 60 zugeleitet wird, der einen Vergleich der Spannungssignale V_d' und V_1 vornimmt. Übersteigt V_d' den Spannungswert V_1 , so wird festgestellt, daß die Bearbeitungsspaltweite zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 einen Wert angenommen hat, der die Abarbeitung des Werkstückes nicht mehr zuläßt, da der Bearbeitungsspalt auf einen Wert angestiegen ist, bei dem kein Entladungsvorgang mehr stattfindet. Der Komparator 60 erzeugt bei diesem Zustand das Logiksignal "0", das dann einem Eingang eines UND-Gatters 62 zugeführt wird, welches dadurch gesperrt wird. Das Logiksignal "0" vom Komparator 60 wird außerdem über einen Inverter 64 einem Eingang eines weiteren UND-Gatters 66 zugeleitet, das damit geöffnet wird.

Ein Taktimpuls CP wird zu jeweils bestimmten Zeiten von einem Oszillator 68 oder ein Taktimpuls CP , der mit der Schwingungsperiode des Ausgangs des Zweiphasenoszillators 40 (in Fig. 7) synchronisiert ist, wird jeweils einer weiteren Eingangsklemme der beiden UND-Gatter 62 und 66 zugeführt. Somit wird, wenn das UND-Gatter 66 im den Bearbeitungsvorgang nicht zulassenden Zustand gemäß obiger Beschreibung geöffnet ist, der Taktimpuls CP vom Oszillator 68 durch ein UND-Gatter 72 einem ersten Zähler 70 eingegeben, der nacheinander die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 zählt.

Wenn das Zwischenelektroden Spannungsdetektorsignal V_d' kleiner als das die Bearbeitung ermöglichende Spannungssignal V_1 ist, wird die Bearbeitungsspaltweite zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 als richtig für den Bearbeitungsvorgang angesehen, da der Bearbeitungsspalt auf eine Spaltweite ausgedehnt ist, daß zwischen Elektrode 10 und Werkstück eine Entladung stattfindet. In diesem Zustand erzeugt der Komparator 60 den Logikwert "1", der dem einen Eingang des UND-Gatters 62 zugeleitet wird, und dieses öffnet. Vom Komparator 60 wird der Logikwert "1" außerdem über den Inverter 64 dem einen Eingang des UND-Gatters 66 zugeführt, das dadurch gesperrt wird.

Da die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 jeweils einem weiteren Eingang der UND-Gatter 62 und 66 zugeleitet werden, kommen sie durch das geöffnete UND-Gatter 62 zu einem zweiten Zähler 64, der die Taktimpulse CP nacheinander zählt. Die Zähler 70 und 74 sind in Kaskade geschaltet. Es wird deshalb der Zählerausgang des Zählers 74 außerdem im Zähler 70 gezählt.

Das Zwischenelektroden Spannungsdetektorsignal V_d' wird überdies auf den Direkteingang eines Komparators 76 gegeben, der an seinem Umkehreingang das Kurzschlußdetektorsignal V_2 zugeführt erhält und damit einen Vergleich zwischen dem Detektorsignal V_d' und dem Kurzschlußdetektorsignal V_2 vornimmt. Ist das Zwischenelektroden Spannungsdetektorsignal V_d' kleiner als das Kurzschlußdetektorspannungssignal V_2 , dann wird festgestellt, daß zwischen der Elektrode und dem Werkstück ein Kurzschluß aufgetreten ist. Der Komparator 76 erzeugt in diesem Fall ein Logiksignal "0", das jeweils einem der Eingänge der UND-Gatter 62 und 66 zugeführt wird, wodurch diese beiden UND-Gatter gesperrt werden. Die Taktimpulse vom Oszillator 68 können deshalb nicht auf die Zähler 70 und 74 gelangen. Der Zählzustand dieser beiden Zähler nimmt deshalb nicht zu. In der beschriebenen Weise ist also eine Vorrichtung gebildet, die feststellen kann, ob die Elektrode 10 sich in einem die Bearbeitung ermöglichenden Zustand befindet oder in einem die Bearbeitung nicht zulassenden Zustand gegenüber dem Werkstück 12 befindet.

Die Zählgänge der Zähler 70 und 74 werden zwei multiplizierenden D/A-Wandlern 78X und 78Y zugeleitet, die auch die Ausgangssignale e_x und e_y vom Zweiphasenoszillator 40 (in Fig. 7) erhalten und die Zählerausgangswerte der Zähler 70 und 74 mit den Ausgangssignalen e_x und e_y der Oszillatoren 40 multiplizieren, wodurch die Produktwerte E_x und E_y in analogen Größen gebildet werden.

Mit einer Schaltung dieser Art werden die Scheitelwerte der Ausgangsgrößen E_x und E_y von den Multiplikations-D/A-Wandlern 78X und 78Y allmählich um immer einen Einheitschritt vergrößert, wenn ein Taktsignal CP während des die Bearbeitung zulassenden Zustandes zugeführt wird, und sie werden jeweils um vier Einheiten stark erhöht, wenn in dem die Bearbeitung nicht zulassenden Zustand Taktimpulse CP zugeführt werden, so daß dann die Spaltweite zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 stark vergrößert wird. Wenn der Zustand des Kurzschlusses festgestellt wird, werden die Scheitelwerte der Ausgangsgrößen E_x und E_y von den D/A-Wandlern 78X und 78Y nicht erhöht, da keine Taktimpulse CP vom Oszillator 68 durch die gesperrten UND-Gatter 62 und 66 auf die Zähler 74 und 70 gelangen können. Wie beschrieben, dienen die multiplizierenden D/A-Wandler 78X und 78Y dazu, in Zusammenarbeit mit den Zählern 70 und 74 als Elektrodenbewe-

gungsbahn-Entscheidungsmittel zu wirken.

Die Arbeitsweise der Elektroerosionsvorrichtung in ihrer bevorzugten Ausführungsform wird für die Herausarbeitung eines Loches im Werkstück 12 bei Verwendung der Bearbeitungselektrode 10 beschrieben.

Der Servomechanismus mit Servoventil 20 und Hydraulikzylinder 22 wird so betrieben, daß die Elektrode 10 sich gegenüber dem Werkstück 12 in einer bestimmten Bearbeitungsstellung abwärts bewegt und damit die Grobbearbeitungsstufe ausführt. In dieser Arbeitsstufe wird der Servomechanismus gesteuert, wie unten beschrieben, so daß die Bearbeitungsspannung V_d zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 in einen Bereich fällt, innerhalb dessen eine günstige Elektroerosionsbearbeitung durchgeführt wird.

Für den Fall, daß die Bearbeitungsspannung V_d zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 gesenkt wird, weil die Gefahr eines Kurzschlusses oder dergleichen zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 besteht, wird die dem Vergleichselektorkreis 36 zugeführte Bearbeitungsspannung V_d gleichermaßen gesenkt, was aus Fig. 6 deutlich wird, so daß die Differenzspannung $V_d - V_s$, die vom Spannungsdifferenzkreis 16, der Vergleichselektorschaltung 36 und dem Verstärker 37 erzeugt und dem Hydraulikservoventil 20 zugeführt wird, folglich ebenfalls abgesenkt wird. Somit wird die Absenkgeschwindigkeit der Elektrode 10 verlangsamt und wird der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück schließlich erheblich erweitert, so daß der Kurzschluß zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 vermieden oder beseitigt wird. Auf diese Weise wird die Elektrode 10 so gesteuert, daß der Elektroerosionsvorgang mit der Elektrode günstigerweise ausgeführt wird.

Wenn der Kurzschluß zwischen Elektrode und Werkstück auf diese Weise beseitigt ist, wird die Bearbeitungsspannung V_d wieder auf einen Wert angehoben, bei welchem der Elektroerosionsvorgang ausgeführt werden kann. Es wird dann in der Folge die Absenkgeschwindigkeit der Elektrode 10 wieder erhöht.

Für den Fall, daß der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 aus irgendwelchen Gründen übermäßig vergrößert ist, so daß zwischen Elektrode und Werkstück keine Entladung mehr stattfindet, wird die Bearbeitungsspannung V_d gesenkt, so daß, wie aus Fig. 6 hervorgeht, die Differenzspannung $V_d - V_s$ aus der Spannungsdifferenzschaltung 16, die über die Vergleichsauswahlmittel und den Verstärker 37 dem Hydraulikservoventil 20 zugeführt wird, ebenfalls ansteigt. Damit wird die Absenkgeschwindigkeit der Elektrode 10 vergrößert, so daß sich der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 verringert. Die Elektrode 10 wird also in dem Maße gesteuert, daß der Elektroerosionsvorgang im Bearbeitungsspalt wieder einsetzt.

Wenn die günstige gewünschte Elektroerosionsbearbeitung zwischen Elektrode und Werkstück 12 wieder eingeleitet ist, wird die Bearbeitungsspannung V_d verringert, und die Absenkgeschwindigkeit der Elektrode 10 wird verlangsamt. Auf diese Weise wird der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 stets auf optimalem Zustand gehalten, während der Elektroerosionsvorgang zwischen Elektrode und Werkstück abläuft. Wenn die Elektrode 10 eine bestimmte Tiefe im Werkstück 12 erreicht, stellt der Differentialwandler 34 (in Fig. 6) dies fest.

Damit wird das Ausgangssignal des Differentialwandlers 34 kleiner als die Differenzspannung $V_d - V_s$, die am Ausgang der Spannungsdifferenzschaltung 16 er-

scheint, und die Vergleichsauswahlmittel 36 werden bevorzugt die kleinere Spannung aus Differenzspannung $V_d - V_s$ und Ausgangsspannung des Differenzwandlers 34 wählen, also die verringerte Ausgangsspannung des Wandlers 34, und werden diese als Ausgangssignal abgeben. Wenn die Eingangsspannung von den Vergleichsauswahlmitteln 36 durch den Verstärker 37 zum Servoventil 20 somit "0" annimmt, wird die Absenkbewegung der Elektrode 10 gestoppt. Wie oben beschrieben, ist auf diese Weise der Grob- oder Primärbearbeitungsschritt der Vorrichtung beendet.

Nach Beendigung des Grobbearbeitungsschrittes wird die Energie pro Impuls von der Impulsstromquelle 14 (Fig. 6) verringert, womit ein Finish- oder Sekundärbearbeitungsschritt eingeleitet wird, bei welchem die X-Y-Führungen 30, 32 aufgrund der Elektronenbewegungssteuereinrichtung 24 der Elektrode kontinuierliche Kreisbewegungen erteilen. Die Radien der mit Hilfe der X-Y-Führungen 30, 32 erteilten Kreisbewegungen werden so gesteuert, wie in Fig. 4 gezeigt, daß sie von Null ausgehend allmählich um einen bestimmten Wert der Bearbeitungsgrenzenausweitung ΔR zunehmen. Dieser Ausweitungswert ΔR wird so gesteuert, daß der Bearbeitungswirkungsgrad der Vorrichtung innerhalb des Bereichs der Bearbeitungskapazität der Vorrichtung ein Maximum wird.

Die Sinuswellen e_x und e_y mit einer Phasenverschiebung von 90° werden (siehe Fig. 7) zunächst vom Zweiphasenoszillator 40 erzeugt. Die Ausgangssignale e_x und e_y des Zweiphasenoszillators 40 werden den Multiplikations-D/A-Wandlern 78X und 78Y in der Steuerschaltung 42 zugeleitet und mit den aufgezählten Ausgangswerten der Zähler 70 und 74 multipliziert. Auf diese Weise erzeugen die Wandler 78X und 78Y Treiberspannungsausgleichssignale F_x und F_y für die beiden Servomotoren 26 bzw. 28. Die Radien der Kreisbewegung der X-Y-Führungen 30 und 32 und folglich die Radien der Kreisbewegung der Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück 12 können durch die Scheitelwerte der Ausgangssignale E_x und E_y von den Wandlern 78X und 78Y beeinflusst werden.

Mit der oben beschriebenen Vorrichtung wird der Radius der Kreisbewegung allmählich erhöht. Wenn der Finishbearbeitungsschritt angelaufen ist, erzeugen die Zähler 70 und 74 die Ausgangssignale "0", so daß die Multiplikations-D/A-Wandler 78X und 78Y entsprechende Ausgangswerte E_x und E_y von "0" erzeugen. Folglich beginnt die Kreisbewegung der Elektrode 10 in der Position, in der der Radius der Kreisbewegung Null ist. Wenn das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' in die Beziehung $V_1 > V_d' > V_2$ fällt, vergleicht der Komparator 60 das Detektorsignal V_d' mit der die Bearbeitung ermöglichenden Spannung V_1 und erzeugt den Logikwert "1", da das Detektorsignal V_d' kleiner als die die Bearbeitung ermöglichende Spannung V_1 ist. Außerdem vergleicht der Komparator 76 das Detektorsignal V_d' mit der Kurzschlußdetektorspannung V_2 und erzeugt den logischen Wert 1, da das Detektorsignal V_d' größer als diese Kurzschlußdetektorspannung V_2 ist. Die Ausgangssignale "1" der Komparatoren 60 und 76 werden dem UND-Gatter 62 zugeleitet, wodurch dieses geöffnet wird. Somit können die Taktimpulse CP des Oszillators 68 über die Zähler 70 und 74 gelangen, die nun diese Taktimpulse vom Oszillator 68 zählen. Die Zählerausgangswerte der Zähler 70 und 74 werden anschließend den beiden Multiplikations-D/A-Wandlern 78X und 78Y zugeleitet, die daraufhin die Scheitelwerte der Ausgangssignale E_x und E_y jeweils in

eine Einheit erhöhen, wenn ihnen ein Taktimpuls CP zugeht, so daß auf diese Weise die Radien der Kreisbewegung, die die Elektrode 10 durchführt, mit dem Maß zunehmender Bearbeitungsbegrenzung ΔR gesteigert werden.

Wenn die Zwischenelektroden-Spannung oder das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' der Beziehung $V_d' > V_1$ genügt, so wird durch den Vergleich des Komparators 60 dieser beiden Spannungen ein Logikwert "0" von ihm hervorgebracht, was als Erkennung gedeutet wird, daß der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 sich zum die Bearbeitung nicht mehr ermöglichenden Zustand erweitert hat, da dann zwischen Elektrode und Werkstück keine Entladung mehr in wünschenswertem Maße auftritt. Das "0"-Ausgangssignal vom Komparator 60 wird auf das UND-Gatter 62 gegeben, wodurch dieses gesperrt wird, kommt aber auch über den Inverter 64 zum UND-Gatter 66, das nun geöffnet ist. Die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 werden dann über das UND-Gatter 66 unmittelbar dem Zähler 70 zugeführt, der diese Taktimpulse CP aufzählt.

Wie Fig. 9 erkennen läßt, zählen die Zähler 70 und 74 im oben beschriebenen Zustand einen Taktimpuls CP vom Oszillator 68 nun mit dem vierfachen Wert im Vergleich zum vorher beschriebenen, die Bearbeitung ermöglichenden Zustand der Vorrichtung. Folglich erhalten die Multiplikations-D/A-Wandler 78X und 78Y Zählerausgänge vom vierfachen Wert im Vergleich zum die Bearbeitung ermöglichenden Zustand von den Zählern 70 und 74 und erhöhen die Scheitelwerte der Ausgangsgrößen E_x und E_y um jeweils vier Einheitsstufen bei Zugang eines Taktimpulses CP vom Oszillator 68, wodurch die Radien der Kreisbewegung der Elektrode mit erhöhter Grenzausweitung ΔR_2 ($\Delta R_2 = 4 \Delta R_1$) erweitert werden, was eine Multiplikation der Sprünge der Radiaausweitung gegenüber dem die Bearbeitung ermöglichenden Zustand der Vorrichtung um den Faktor 4 bedeutet. Auf diese Weise wird der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 sprunghaft in den Bereich verengt, in dem zwischen Elektrode und Werkstück wieder Entladung stattfindet. Kommt die Elektrode somit in den die Elektroerosion ermöglichenden Zustand, so fällt das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' wieder in den Bereich $V_1 > V_d'$, die Elektrode 10 ist somit wieder in der vorher beschriebenen, die Bearbeitung ermöglichenden Zustand zurückgekommen.

Wenn ein Kurzschluß zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 aufgrund zu enger Annäherung und damit zu geringem Bearbeitungsspalt auftritt, dann fällt das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' in den Bereich $V_2 > V_d'$, so daß der Komparator, der das Detektorsignal V_d' mit der Kurzschlußdetektorspannung V_2 vergleicht, den Logikwert "0" hervorbringt. Dieser Logikwert "0" vom Komparator 76 wird den UND-Gattern 62 und 66 zugeführt, wodurch diese gesperrt werden und nunmehr keine Taktimpulse CP vom Oszillator 68 mehr zu den Zählern 70 und 74 gelangen können. Folglich kommen keine weitergezählten Ausgangswerte von den Zählern 74 und 70 auf die Multiplikations-D/A-Wandler 78X, 78Y, so daß vorübergehend die Scheitelwerte der Ausgangsgrößen E_x und E_y nicht mehr zunehmen und damit der Kreisbewegungsradius der Elektrode unverändert bleibt. Wenn der vorher aufgetretene Kurzschluß auf diese Weise auf natürlichem Wege beseitigt ist, kehrt das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' wieder auf die Beziehung $V_d' > V_2$

zurück, so daß die Elektrode 10 dann wieder auf den die Bearbeitung ermöglichenden Zustand zurückgekehrt ist.

Wie vorher beschrieben, hält sich der Bearbeitungsspalt zwischen Elektroden 10 und Werkstück 12 während der Finishbearbeitung stets innerhalb eines geeigneten Wertes.

Wenngleich die Beschreibung auf einen Elektroerosionsvorgang gerichtet ist, bei dem das bearbeitende Werkzeug oder die Elektrode eine Kreisbewegung ausführt, die sich allmählich erweitert, ist die Elektroerosionsvorrichtung der beschriebenen Ausführungsform nicht allein darauf beschränkt, sondern kann auch mit einem Elektroerosionsvorgang in Verbindung gebracht werden, bei dem das Bearbeitungswerkzeug oder die Elektrode die Außenflächen des Werkstückes bearbeitet. Für diesen Fall wird der Radius der Kreisbewegung der bearbeitenden Elektrode allmählich verringert, was mit Subtraktionszählern erfolgt, die anstelle der Additionszähler des beschriebenen Beispiels eingesetzt werden.

Die vorangehende Beschreibung ist auf einen Elektroerosionsvorgang gerichtet, bei dessen Vorrichtung das Werkstück feststeht und die Elektrode in kreisförmigen Bewegungen bewegt wird, jedoch wird dieselbe Wirkung erzielt, wenn beim Elektroerosionsvorgang die Elektrode feststeht und das Werkzeug sich in einer Kreisbewegung bewegt.

Es lassen sich mit der beschriebenen Steuerung ähnliche Wirkungen auch bei Schablonenschleifmaschinen, Fräsmaschinen und dergleichen erzielen. Bei derartigen Bearbeitungsvorgängen läßt sich der Drehmomentlastzustand durch Überwachung des Motorstroms für die Antriebswelle erfassen, wodurch festgestellt wird, ob sich die Maschine in einem lastfreien, keine Bearbeitung durchführenden Zustand oder in einem Bearbeitungszustand unter der richtigen Last befindet, und in gleicher Weise läßt sich ohne Schwierigkeit im technischen Aufwand eine vergleichbare Steuerung mit demselben Effekt durchführen, wie oben beschrieben.

Wie aus der vorangehenden Beschreibung hervorgeht, kann die Elektroerosionsvorrichtung in ihrer erfindungsgemäßen Ausbildung gemäß den Darstellungen der Fig. 6 bis 9 erkennen und entscheiden, ob sich das Bearbeitungswerkzeug oder die Bearbeitungselektrode in einem die Bearbeitung zulassenden Zustand oder einem die Bearbeitung nicht ermöglichenden Zustand befindet, wenn das Werkzeug oder die Elektrode gegenüber dem Werkstück eine Kreisbewegung ausführt, und kann außerdem optimal für jeden Kreis abhängig vom Bearbeitungszustand der Elektrode die Bearbeitungsgrenze ausweiten. Damit läßt sich der gewünschte gute Elektroerosionsvorgang mit der Vorrichtung mit gutem Wirkungsgrad durchführen.

Fig. 10 zeigt ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Steuerschaltung 42. Soweit gleiche Bezugszeichen wie in Fig. 9 verwendet worden sind, sind damit auch die gleichen Bauteile bezeichnet, so daß eine nochmalige Beschreibung dieser Zeile entfallen kann. Die Steuerschaltung 42 enthält bei diesem Ausführungsbeispiel einen Inverter 76a der mit dem Ausgang des Komparators 76 verbunden ist. Wenn das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' unter die Kurzschlußdetektorspannung V_2 abgesunken ist, vergleicht der Komparator das Detektorsignal V_d' mit der Kurzschlußdetektorspannung V_2 und erzeugt dabei den Logikwert "0" als Feststellung, daß zwischen der Elektrode und dem Werkstück 12 ein Kurzschluß herrscht, was als entarte-

ter Bearbeitungszustand zu bezeichnen ist. Der L-Ausgang "0" vom Komparator 76 wird den beiden UND-Gattern 62 und 66 zugeleitet und kommt über den Inverter 76a zu einem UND-Gatter 76b, das dadurch geöffnet wird. Vom Oszillator 68 stammende Taktimpulse CP werden überdies dem zweiten Eingang des UND-Gatters 76b zugeleitet. In dem genannten entarteten Bearbeitungszustand werden die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 über das offene UND-Gatter 76b der Subtraktionseingangsklemme (U) des ersten Zählers 70 zugeführt. Die derart aufgebauten Unterscheidungsmittel sorgen also dafür, zu unterscheiden, ob sich die Elektrode 10 in einem die Bearbeitung zulassenden Zustand oder nicht gegenüber dem Werkstück 12 befindet, und stellen weiter fest, ob das Werkstück sich in einem entarteten Bearbeitungszustand oder nicht befindet.

Wie aus der obigen Beschreibung hervorgeht, ist in dem die Bearbeitung zulassenden Zustand nur das UND-Gatter 62 offen, so daß Taktimpulse CP vom Oszillator 68 über das offene UND-Gatter 62 durch den zweiten Zähler 74 zum ersten Zähler 70 und die Zählaustränge des ersten und zweiten Zählers 70 bzw. 74 mit jedem Taktimpuls X_P um Eins voranzählt werden.

In dem die Bearbeitung nicht zulassenden Zustand ist nur das UND-Gatter 66 geöffnet, so daß die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 durch das geöffnete UND-Gatter 66 direkt zum Zähler 70 über ein ODER-Gatter 72 gelangen, und die Zählaustränge der Zähler 70 und 74 werden mit jedem Taktimpuls CP um vier Einheiten weitergezählt. Im entarteten Bearbeitungszustand ist nur das UND-Gatter 76b offen. Die Taktimpulse CP des Oszillators 68 laufen durch den Inverter 76a und das geöffnete UND-Gatter 76b, und die Zählaustränge der Zähler 70 und 74 werden mit jedem Taktimpuls CP um vier Einheiten abwärtsgezählt.

Die Steuerschaltung 42 dieser Ausführungsform umschließt weiter einen primären Verzögerungskonstantenkreis mit einem Widerstand 80 zwischen dem Ausgang des Komparators 76 und dem Umkehreingang eines Komparators 84 und einem Kondensator 82, der zwischen dem Umkehreingang des Komparators 84 und Masse liegt, sowie den Komparator 84 selbst. Verbleibt das Verarbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' länger als die Primärverzögerungszeitkonstante der genannten Schaltung auf einem niedrigen Wert, dann gibt der Komparator 76 dauernd einen Logikwert "0" ab. In diesem Zustand wird der aufgeladene Kondensator 62 über den Widerstand 80 entladen, und die Ladespannung des Kondensators 82 sinkt auf diese Weise unter den Wert einer Bezugsspannung V_3' ab, die dem Direkteingang des Komparators 84 zugeführt wird.

Wenn der Kondensator 82 auf diese Weise über den Widerstand 80 entladen worden ist, bis seine Ladespannung unter den Bezugsspannungswert V_3 abgesunken ist, erzeugt der Komparator 84 den Logikwert "1".

Die Steuerschaltung 42 dieses Ausführungsbeispiels enthält weiterhin einen Transistor 88, eine Lampe 86, die mit dem Emitter des Transistors 88 verbunden ist, und mehrere Photoleiterzellen 50 und 52, die, wie angedeutet, in einem geschlossenen Gehäuse 90 enthalten sind. Die Lampe 86 dient dazu, die Photoleiterzellen 50 und 52 im Gehäuse 90 gleichmäßig zu beleuchten und dadurch die Widerstandswerte der Zellen 50 und 52 abzusinken, was zur Folge hat, daß die Oszillationsfrequenzen der Ausgangssignale e_x und e_y des Zweiphasenoszillators 40 (in Fig. 7) erhöht werden. Das H-Ausgangssignal "1" vom Komparator 84 wird dann der Basis des Transistors 88 zugeführt, dessen Kollektor an der positi-

ven Spannung + Vcc liegt, wodurch der Transistor 88 leitend wird und die Lampe 86 zum Aufleuchten bringt. In dieser Weise ist die aus Widerstand 80 und Kondensator 82, Komparator 84, der Lampe 86 und dem Transistor 88 sowie den photoelektrischen Zellen 50 und 52 aufgebaute Primärverzögerungszeitkonstantenschaltung dazu in der Lage, als Bestimmungseinrichtung für die Kreisbewegungsgeschwindigkeit zu wirken.

Wenn zwischen Elektrode und Werkstück ein Kurzschluß auftritt aufgrund eines engen Bearbeitungsspalt zwischen diesen beiden Teilen, fällt das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' in den Bereich der Beziehung $V_2 > V_d'$. Der Komparator 46 vergleicht das Detektorsignal V_d' mit der Kurzschlußdetektorspannung V_2 und erzeugt den Logikwert "0", da V_d' kleiner als V_2 ist. Das L-Ausgangssignal "0" vom Komparator 76 wird über den Inverter 76a dem UND-Gatter 76b zugeleitet. Das UND-Gatter 76 wird damit geöffnet, und außerdem kommen die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 zum zweiten Eingang des UND-Gatters 76b, die durch das nun geöffnete UND-Gatter 76b zum Subtraktionseingang (U) des ersten Zählers 70 kommen, wodurch die Zählgänge der Zähler 70 und 74 um vier Einheiten je Taktimpuls CP rückwärtsgezählt und die Zählwerte so den Multiplikations-D/A-Wandler 78X und 78Y zugeführt werden. Die Ausgangsgrößen E_x und E_y der D/A-Wandler 78X und 78Y haben somit entsprechende verkleinerte Scheitelwerte, so daß die Radien der Kreisbewegung der Elektrode 10 um $\Delta R/2$ verkleinert werden. Wenn der Bearbeitungsspalt zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 in dieser Weise hinreichend erweitert worden ist, und der Kurzschluß damit auf natürlichem Wege beseitigt wurde, kehrt das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' wieder in den Bereich der Beziehung $V_d' > V_2$ zurück, so daß die Elektrode 10 damit sich wieder im Zustand der möglichen Bearbeitung befindet.

Hält der Kurzschlußzustand zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 jedoch an, wenn der Bearbeitungsspalt zwischen ihnen ausreichend erweitert worden ist, dann wird der Kondensator 82 über den Widerstand 80 entladen, so daß seine Spannung unter die vorgegebene Bezugsspannung V_3 absinkt. Der Komparator 84 erzeugt dann ein H-Signal "1", wodurch der Transistor 88 in Leitungszustand kommt und die Lampe 86, die am Emitter des Transistors 88 liegt, Strom erhält. Bestrahlt die Lampe 86 die Zellen 50 und 52 im Gehäuse 90, so sinken deren Widerstandswerte ab. Die Schwingfrequenzen der Ausgangssignale e_x und e_y vom Zweiphasenoszillator 40 werden damit erhöht. Die Drehzahl der Kreisbewegungen der Elektrode 10 steigt damit an, so daß die Randgeschwindigkeit der Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück 12 zunimmt, was zu einem merklichen Anstieg der Abpumpwirkung von Bearbeitungsspänen und leitfähigem Schlamm im Bearbeitungsspalt führt. Da der Radius der Kreisbewegung 10 weiter verringert ist, wird ein Überschneidungsphänomen der Elektrode 10, was zu einer Verschlechterung der Bearbeitungsgenauigkeit der Elektrode 10 führt, vermieden; vielmehr kann die Bearbeitungsgenauigkeit der Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück 12 auf dem Wert bei der Kreisbewegung mit niedriger Bearbeitungsgeschwindigkeit gehalten werden. Auf diese Weise können abgearbeitete Späne und leitender Schlamm aus dem Bearbeitungsspalt wirksam herausgefördert werden, so daß der Kurzschluß zwischen Elektrode und Werkstück schnell beseitigt wird. Anschließend wird die Elektrode wieder auf den vorherigen die Bearbeitung zulassenden

Zustand oder die Bearbeitung nicht zulassenden Zustand geschaltet. Wie vorher beschrieben, wird der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück stets während des Finishbearbeitungsvorgangs auf einem geeigneten Wert gehalten. Es sei bemerkt, daß, wenngleich die vorangehende Beschreibung auf einen Elektroerosionsvorgang gerichtet ist, bei dem der Radius der Kreisbewegung des Bearbeitungswerkzeugs allmählich zunimmt, die Elektroerosionsvorrichtung des voranbeschriebenen Beispiels nicht hierauf beschränkt ist, sondern auch dort Anwendung finden kann, wo die Bearbeitungselektrode die äußeren Umfangsflächen des Werkstücks bearbeiten. Für diesen Fall wird der Radius der Kreisbewegung des Bearbeitungswerkzeugs oder der Elektrode allmählich ausreichend verkleinert, wozu Subtraktionszähler anstelle der Additionszähler des beschriebenen Ausführungsbeispiels eingesetzt werden. Auch ist das gleiche Prinzip anwendbar, wenn anstelle einer kreisförmig bewegten Elektrode und eines feststehenden Werkzeugs der beschriebenen Ausführung die Bearbeitungselektrode fest angeordnet und das Werkstück in kreisförmiger Bewegung bewegt wird.

Aus der vorangehenden Beschreibung in Verbindung mit der Fig. 10 geht hervor, daß die Elektroerosionsvorrichtung in ihrem erfindungsgemäßen Aufbau die Breite des Bearbeitungsspates zwischen Elektrode und Werkstück abhängig vom Bearbeitungszustand optimal steuern kann, wenn das Werkzeug oder die Elektrode gegenüber dem Werkstück in einer kreisförmigen Bewegung bewegt wird, womit das Werkstück sehr wirksam bearbeitet wird, während außerdem die Spaltweite vergrößert und die Geschwindigkeit der Kreisbewegung der Elektrode bei einem entarteten Bearbeitungszustand erhöht werden kann. Es lassen sich so abgearbeitete Metallsplinter und leitender Metallschlamm sehr wirksam aus dem Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück herausfördern, so daß sie die Bearbeitungsgenauigkeit der Vorrichtung nicht abträglich beeinflussen können, und es kann die Elektroerosionsvorrichtung, mit der das Werkstück bearbeitet wird, stets in sehr kurzer Zeit wieder in einen die Bearbeitung zulassenden Zustand zurückgeführt werden.

Fig. 11 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Steuerschaltung 42. Soweit dieselben Bezugszeichen verwendet sind, stimmen die Bauteile mit denen in Fig. 10 überein, so daß nochmalige Beschreibung hier entfällt. Die Steuerschaltung 42 dieses Ausführungsbeispiels weist darüber hinaus einen Transistor 92 zur Aufnahme des Bearbeitungsspannungsdetektorsignals V_d' an seiner Basis und eine Lampe 94, die mit dem Emitter des Transistors 92 verbunden ist und ebenfalls in dem geschlossenen Gehäuse 90 untergebracht ist, ist.

Wenn das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' größer als das Kurzschlußdetektorsignal V_2 wird, wird es Basis des Transistors 92 zugeführt, wodurch über einen Widerstand der Transistor 92 gesteuert und damit die Lampe 94 am Emitter des Transistors zum Aufleuchten gebracht wird. Die Lampe 94 beleuchtet dann die photoelektrischen Zellen 50 und 52 im geschlossenen Gehäuse 90 in derselben Weise wie die Lampe 86. Wenn der Detektorsignal V_d' also höher als die Detektorspannung V_2 ist, wird der Transistor 92 leitend und schaltet die Lampe 94 ein. Diese strahlt auf die photoelektrischen Zellen 50 und 52 und verringert deren Widerstandswerte. Damit werden die Schwingfrequenzen der Ausgangssignale e_x und e_y des Zweiphasenoszillators 40 entsprechend erhöht. Wenn die Detektorspannung V_d' kleiner als die Detektorspannung V_2 ist, sperrt der

Transistor 92, und die Lampe 94 erlischt, so daß die Widerstandswerte der Zellen 50 und 52 größer werden. Damit sinken die Frequenzen der Ausgangssignale e_x und e_y des Zweiphasenoszillators entsprechend. Auf diese Weise ist eine Kreisbewegungsgeschwindigkeitsbestimmungseinrichtung für die Elektrode geschaffen, von der die Kreisbewegungsgeschwindigkeit der Bearbeitungselektrode mit Hilfe des Widerstands 80, des Kondensators 82, des Komparators 84, der Lampen 86, 94, der Transistoren 88 und 92 sowie der photoelektrischen Zellen 50 und 52 bestimmt wird.

Die Kreisbewegungsgeschwindigkeit der Elektrode 10 wird in dem die Bearbeitung zulassenden Zustand oder in dem die Bearbeitung nicht zulassenden Zustand der Vorrichtung gemäß nachfolgender Darstellung gesteuert. Wenn der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück klein ist und das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d unter die Kurzschlußdetektorspannung V_2 abgesunken ist, dann ist der Widerstandswert des Transistors 92 groß, so daß der durch den Transistor 92 fließende Strom klein und damit der durch die Lampe 94 fließende Strom ebenfalls klein ist. Der Widerstandswert der photoelektrischen Zellen 50 und 52, die von der Lampe beleuchtet werden, ist damit ebenfalls hoch. Daraus ergibt sich, daß die Schwingfrequenzen der Ausgangssignale e_x und e_y des Zweiphasenoszillators 40 niedrig werden und die Elektrode 10 sich nur mit langsamer Kreisbewegung bewegt.

Mit größer werdendem Spalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück steigt das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d an und der Widerstandswert des Transistors 92 wird entsprechend allmählich kleiner. Der durch die Lampe 94 fließende Strom wird damit größer. Als Folge davon sinken die Widerstandswerte der photoelektrischen Zellen 50 und 52 allmählich ab, und es steigen die Frequenzen der Ausgangssignale e_x und e_y des Zweiphasenoszillators 40, so daß die Geschwindigkeit der Kreisbewegung der Elektrode ansteigt. Auf diese Weise ist die Kreisbewegungsgeschwindigkeit der Elektrode abhängig vom Bearbeitungsspalt und folglich auch die Bearbeitungsgrenzlinie der Elektrode optimal gesteuert. Für den Fall, daß beispielsweise der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 eng ist, so daß zwischen diesen beiden Teilen leicht ein Kurzschluß entstehen kann, wird die Kreisbewegung der Elektrode 10 verlangsamt, womit ausreichend Zeit sichergestellt wird, in der die Elektrode 10 nach oben weggezogen werden kann, ohne daß zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 Reibung auftritt. Im Falle, daß der Bearbeitungsspalt zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 überaus groß ist, wird die Kreisbewegungsgeschwindigkeit der Elektrode 10 erhöht, wodurch aus dem Bearbeitungsspalt Späne und leitender Schlamm herausgespült werden.

Der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 wird somit während der Finishbearbeitung immer in einem geeigneten Zustand gehalten.

Wie aus der vorhergehenden Beschreibung deutlich wird, kann die Elektroerosionsvorrichtung gemäß Darstellung der Fig. 11 und einem Aufbau entsprechend der Erfindung die Kreisbewegungsgeschwindigkeit der Elektrode abhängig von der Größe des Bearbeitungsspaltes zwischen Elektrode und Werkstück in geeignetem Maß steuern, während eine angemessene Steuerung der Bearbeitungsspaltweite abhängig vom Bearbeitungszustand vorgenommen wird, wenn das Werkzeug oder die bearbeitende Elektrode gegenüber dem Werkstück in einer Kreisbewegung bewegt wird, so daß

dadurch eine Beschädigung des Werkzeugs oder der Elektrode durch Reibung am Werkstück vermieden wird, die Bearbeitung des Werkstücks in gewünschter Weise erfolgt und abgearbeitete Späne und leitender Metallschlamm, die im Bearbeitungsspalt enthalten sind, mit Hilfe der Kreisbewegung der Elektrode wirksam herausgepumpt werden. Der Bearbeitungswirkungsgrad ist somit durch die Erfindung erheblich verbessert.

Die Fig. 12 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Steuerschaltung 42. Sofern Bezugszeichen vorkommen, die auch bereits in den Fig. 9 bis 11 auftreten, sind damit gleiche Bauteile bezeichnet, so daß eine entsprechende Beschreibung hier entfallen kann. Die Steuerschaltung 42 dieses Ausführungsbeispiels weist zusätzlich eine UND-Gatter 69 auf, dem an einem Eingang die Taktimpulse CP des Oszillators 68 oder mit der Schwingungsperiode des Ausgangssignals vom Zweiphasenoszillator 40 synchrone Impulse zugeführt werden und das die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 auf zweite Eingänge der UND-Gatter 62, 66 und 76 leitet.

Besteht das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d bei niedrigem Wert nicht länger als die primäre Verzögerungszeitkonstante der primären Verzögerungszeitkonstantenschaltung, dann gibt der Komparator 76 dauernd den Logikwert "0" ab. In diesem Zustand wird der Ladekondensator 82 über den Widerstand 80 entladen, womit die Ladespannung des Kondensators 82 unter die Bezugsspannung V_3 absinkt, welche dem Umkehreingang des Komparators 84 zugeführt wird, während der Widerstand 80 auf einer Seite mit dem Direkt-eingang des Komparators 84 und auf der anderen Seite mit dem Ausgang des Komparators 76 in Verbindung steht.

Wenn der Kondensator 82 über den Widerstand 80 entladen ist, so daß die Spannung am Kondensator 82 kleiner als die Bezugsspannung V_3 ist, erzeugt der Komparator 84 den Logiksignalwert "0", der dem zweiten Eingang des UND-Gatters 69 zugeleitet wird und dieses UND-Gatter sperrt. Somit werden keine Taktimpulse CP vom Oszillator 68 über die UND-Gatter 62, 66 und 76 auf die Zähler 70 und 74 gegeben.

Die Steuerschaltung 42 in diesem Ausführungsbeispiel enthält ferner einen Analogschalter 96, der die Ausgangssignale e_x und e_y vom Zweiphasenoszillator 40 zu den D/A-Wandlern 78X und 78Y durchschaltet, und Eingangswiderstände 100 und 98, die zwischen die Eingangsklemmen der Wandler 78X und 78Y für die Ausgangssignale e_x und e_y vom Oszillator 40 und Masse gelegt sind.

Wenn die Taktimpulse CP vom Oszillator 68 von den Zählern 70 und 74 ferngehalten werden, dann öffnet das Ausgangssignal des Komparators 84 außerdem den Analogschalter e_x und e_y vom Oszillator 40 auch von den Wandlern 78X und 78Y ferngehalten, so daß die von den Wandlern erzeugten Ausgangsgrößen e_x und e_y Null sind. Damit hört jegliche Kreisbewegung der Elektrode 10 auf, so daß der Radius der Kreisbewegung der Elektrode 10 sprunghaft auf Null zurückgeht. Da der Komparator 84 eine Hysterese-Charakteristik enthält, kehrt, wenn die Bearbeitungsspannung V_d zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 wieder ansteigt, der Radius der Kreisbewegung der Elektrode nicht sprunghaft auf den ursprünglichen Radius zurück. Folglich kann Überspringen oder Pendelbewegung, bei der der Radius der kreisförmigen Bewegung der Elektrode kurzzeitig größer und kleiner wird, vermieden werden. In der beschriebenen Weise ist die Kreisbewegungsbestimmungseinrichtung oder die Vorrichtung zum Steuern

der Kreisbewegung der Elektrode 10 aufgebaut. Wenn ein Kurzschluß zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 auch dann noch bestehen bleibt, wenn der Bearbeitungsspalt ausreichend vergrößert worden ist, wird der Kondensator 82 über den Widerstand 80 entladen, bis sein Ladespannungswert unter die vorgegebene Bezugsspannung V_3 sinkt. Der Komparator 84 erzeugt dann den logischen Ausgangswert "0", schließt damit das UND-Gatter 69 und unterbindet die Zufuhr von Taktimpulsen CP vom Oszillator 68 über das UND-Gatter 69 und die UND-Gatter 62, 66 und 76b zu den Zählern 70 und 74. Außerdem öffnet das Ausgangssignal "0" des Komparators 84 den Analogschalter 86 und unterbindet die Ausgangssignale e_x und e_y vom Zweiphasenoszillator 40 zu den D/A-Wandlern 78X und 78Y.

Da die Eingangsklemmen der D/A-Wandler 78X und 78Y für die Ausgangssignale e_x und e_y vom Oszillator 40 über die Widerstände 100 und 99 geerdet sind, werden die Eingangsgrößen der Wandler 78X und 78Y Null Volt. Folglich erzeugen die Wandler 78X und 78Y augenblicklich Ausgangswerte E_x und E_y vom Wert Null. Dadurch ist die Kreisbewegung der Elektrode 10 augenblicklich gestoppt, und der Radius der Kreisbewegung der Elektrode geht sprunghaft auf die Mitte zurück, ist also sehr schnell herabgesetzt, wodurch die bei der Bearbeitung entstandenen Späne und im Bearbeitungsspalt angesammelter Schlamm herausgespült werden, und entsprechend erweitert sich der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück, so daß der dazwischen auftretende Kurzschluß beseitigt ist.

Da der Komparator 84 eine Hysterese-Charakteristik enthält, kehrt auch dann, wenn der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode 10 und Werkstück 12 plötzlich geöffnet ist und die Zwischenelektrodenspannung V_d und folglich das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' ansteigt, der Radius der Kreisbewegung der Elektrode 10 nicht augenblicklich auf die Größe des ursprünglichen Radius zurück. Damit kann ein Schwingungsphänomen, bei dem der Radius der Kreisbewegung der Elektrode 10 abwechselnd anwächst und wieder verringert wird, ausgeschlossen werden.

Nach der Elektroerosionsvorrichtung mit Merkmalen nach der Erfindung wird bei einem Kurzschluß zwischen Elektrode und Werkstück die Elektrode 10 in einer Richtung verschoben, die zu einer Vergrößerung des Bearbeitungsspalt führt, und zwar in einer im wesentlichen senkrecht auf der Hauptbearbeitungsrichtung stehenden Ebene, und die Elektrode wird lediglich geringfügig in der Primärbearbeitungsrichtung für den Zweck der Erweiterung des Bearbeitungsspalt gegenüber der Bodenfläche der Elektrode bei einer äußerst langsamen Geschwindigkeit angehoben. Dies liegt daran, daß die Differenzspannung $V_d - V_s$ zwischen der Elektrodenpotentialspannung V_d und der Bezugsspannung V_s geringfügig negativ wird, wenn der Kurzschluß zwischen Elektrode und Werkstück auftritt, so daß die leicht negative Komponente über den Widerstand 37b der Schaltung 36 zum Servomechanismus zugeführt wird, um die Elektrode 10 in der Primärbearbeitungsrichtung zu verschieben.

Wenn der Kurzschluß zwischen der Elektrode 10 und dem Werkstück 12 auf diese Weise wieder aufgehoben ist und Bearbeitungsspäne und Schlamm aus dem Bearbeitungsspalt herausgefördert sind, ist das Bearbeitungsspannungsdetektorsignal V_d' wieder von der Beziehung $V_d' > V_2$, die Vorrichtung ist dann in den die Bearbeitung nicht ermöglichenden Zustand oder in den die Bearbeitung ermöglichenden Zustand geschaltet,

und die Kreisbewegung der Elektrode in der tiefsten Position des ausgehöhlten Loches, das in das Werkstück 12 eingeschaltet worden ist, wird erneut in Gang gebracht. Damit beginnt der Finishbearbeitungsvorgang unter Einbeziehung der gesamten Seitenflächen der Elektrode 10, so daß die Elektrode nicht örtlich verbraucht wird.

Wie beschrieben, wird der Bearbeitungsspalt zwischen der Elektrode 10 und Werkstück 12 stets auf einem brauchbaren Wert während der Finishbearbeitung des Werkstücks mit der Elektrode gehalten.

Aus der vorangehenden Beschreibung geht eine Elektroerosionsvorrichtung für die Bearbeitung eines Werkstücks 12 mittels Bewegungen einer Elektrode 10 gegenüber dem Werkstück in einer kreisförmigen Bewegung in einer Ebene im wesentlichen senkrecht auf der Primärbearbeitungsrichtung für die Finishbearbeitung des Werkstücks hervor, wobei gemäß der Erfindung der Bearbeitungszustand des Werkstückes gegenüber der Elektrode ermittelt und der Radius der Kreisbewegung der Elektrode vergrößert oder verkleinert wird, so daß der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück im Hinblick auf den Bearbeitungszustand ein Optimum wird. Die Finishbearbeitung wird deshalb in besonders wirksamer Weise ausgeführt. Wenn ein entarteter Bearbeitungszustand, wie etwa ein Kurzschluß zwischen Elektrode und Werkstück auftritt, wird die Kreisbewegung der Elektrode gestoppt, und der Radius der Kreisbewegung der Elektrode wird sprunghaft vergrößert oder verringert in einer Richtung, daß der Bearbeitungsspalt zwischen Elektrode und Werkstück vergrößert wird in einer im wesentlichen senkrecht auf der Primärbearbeitungsrichtung stehenden Ebene. Auf diese Weise wird eine örtliche Abnutzung der Elektrode vermieden, das Werkstück kann durch die ungleichmäßig abgenutzte Form der Elektrode nicht verformt werden, sondern wird genau bearbeitet, und Bearbeitungsspäne und leitender Schlamm im Bearbeitungsspalt können wirksam aus dem Spalt herausgefördert werden, wofür eine Pumpwirkung aufgrund der sprunghaften Bewegung der Elektrode maßgebend ist.

Hierzu 10 Blatt Zeichnungen

FIG. 2

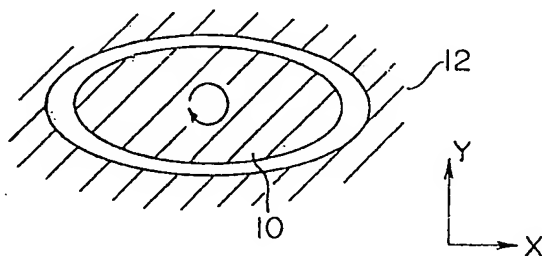


FIG. 3

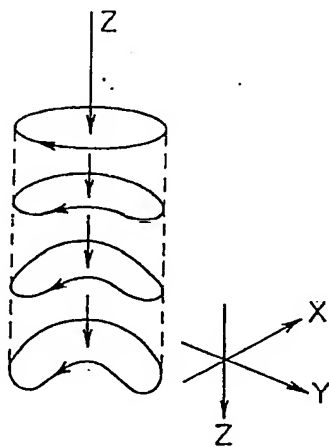


FIG. 4

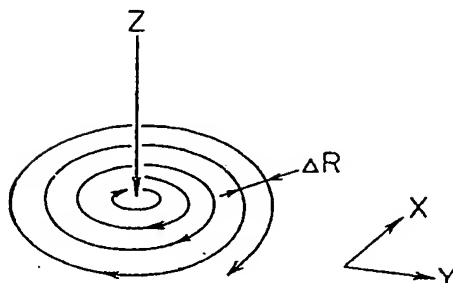


FIG. 5B

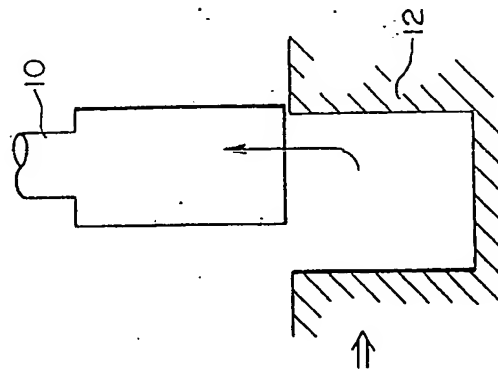


FIG. 5C

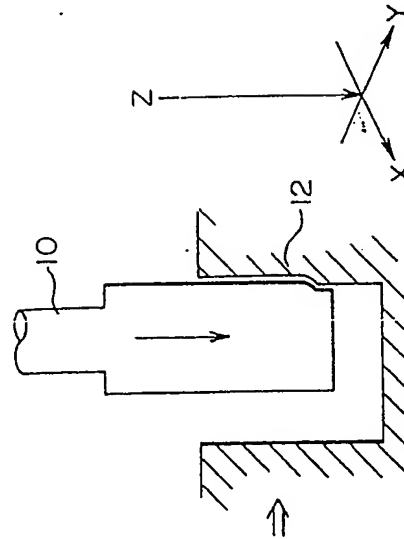


FIG. 5A

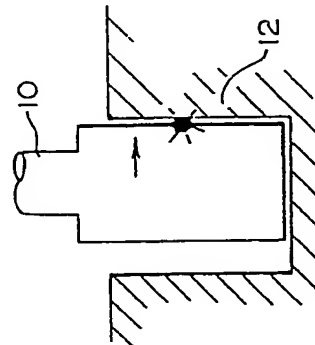


FIG. 6

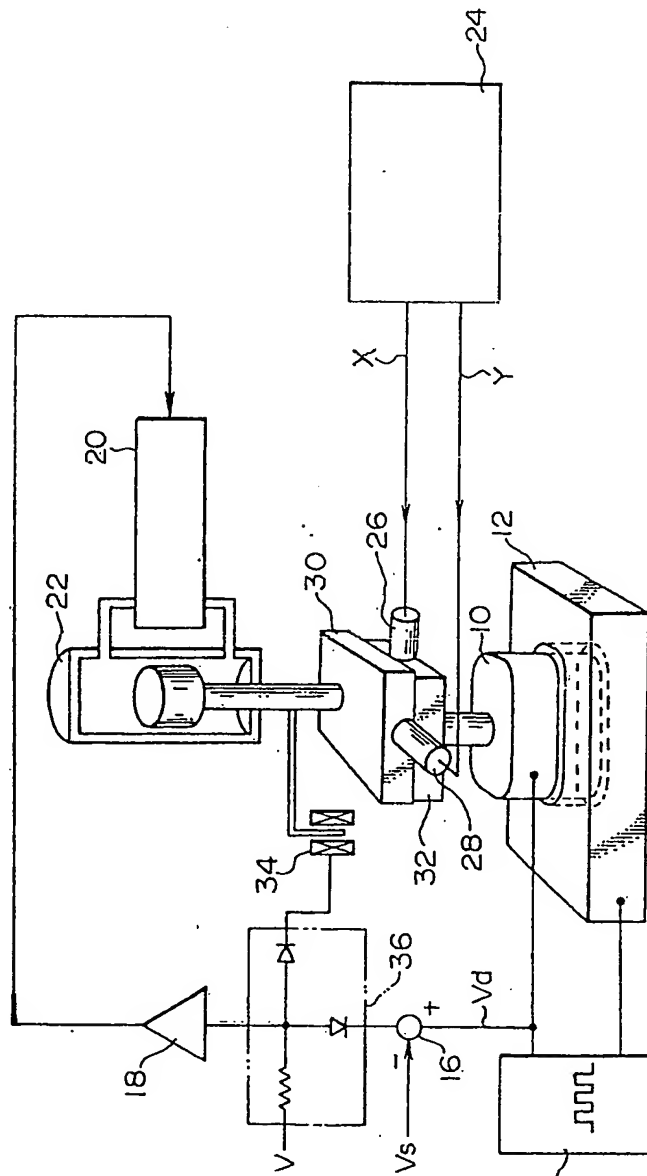


FIG. 7

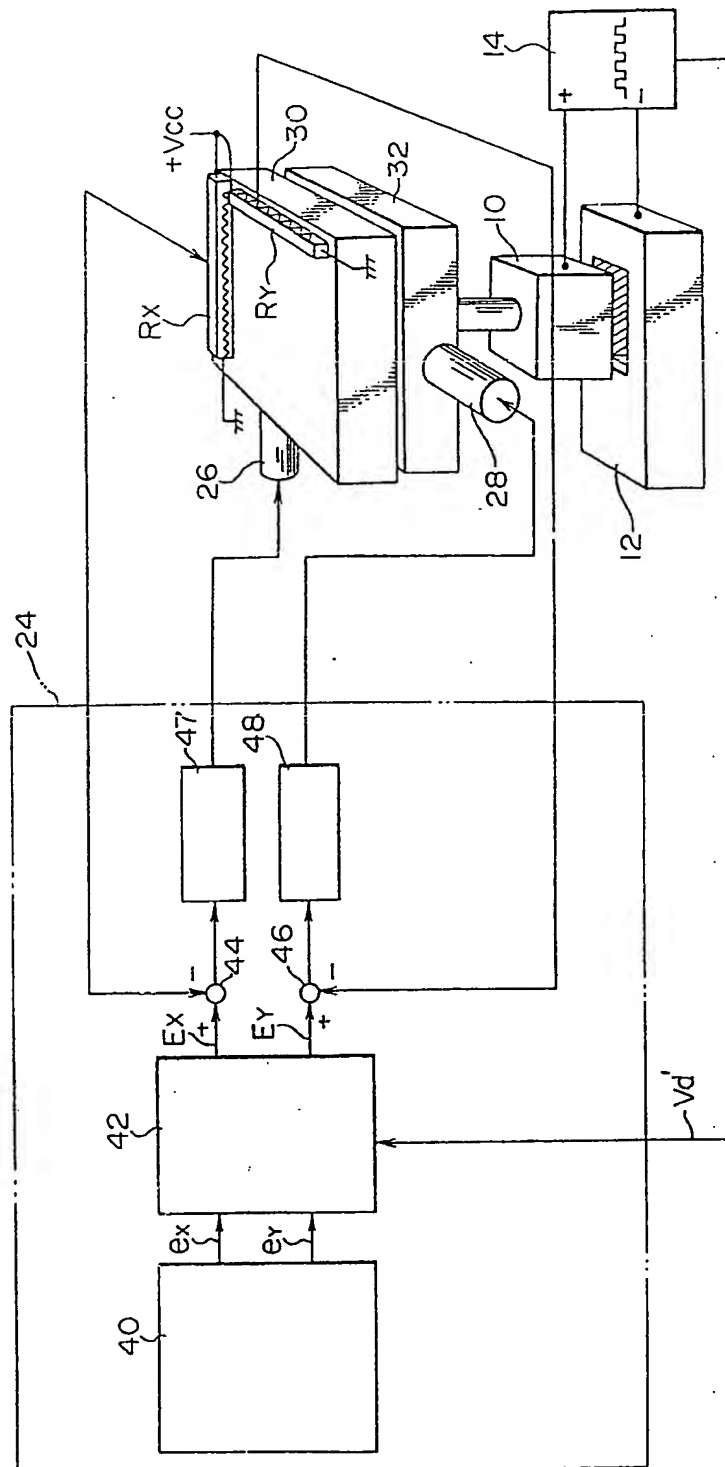


FIG. 8

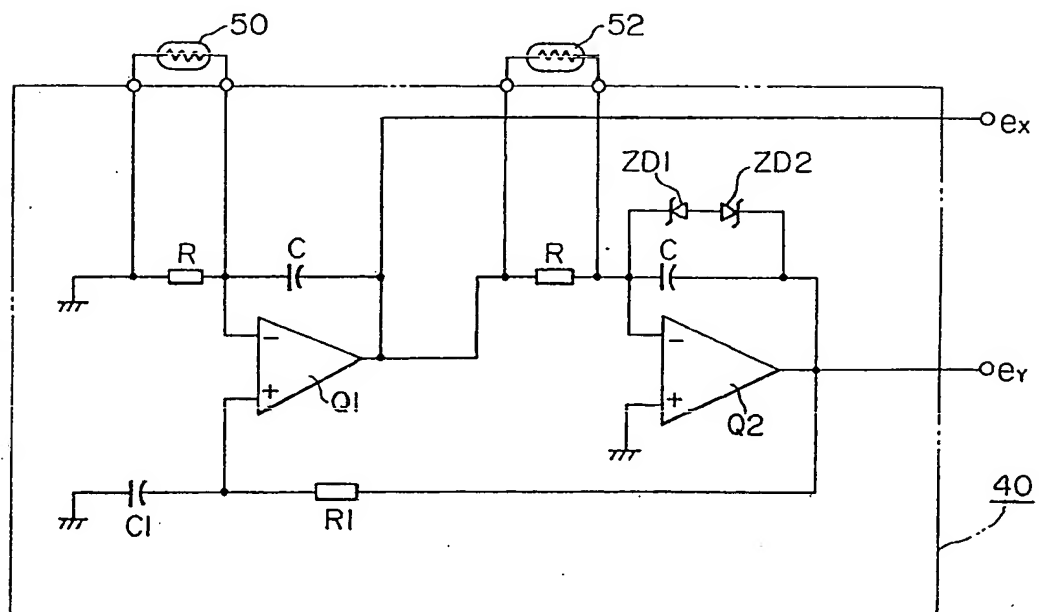


FIG. 9

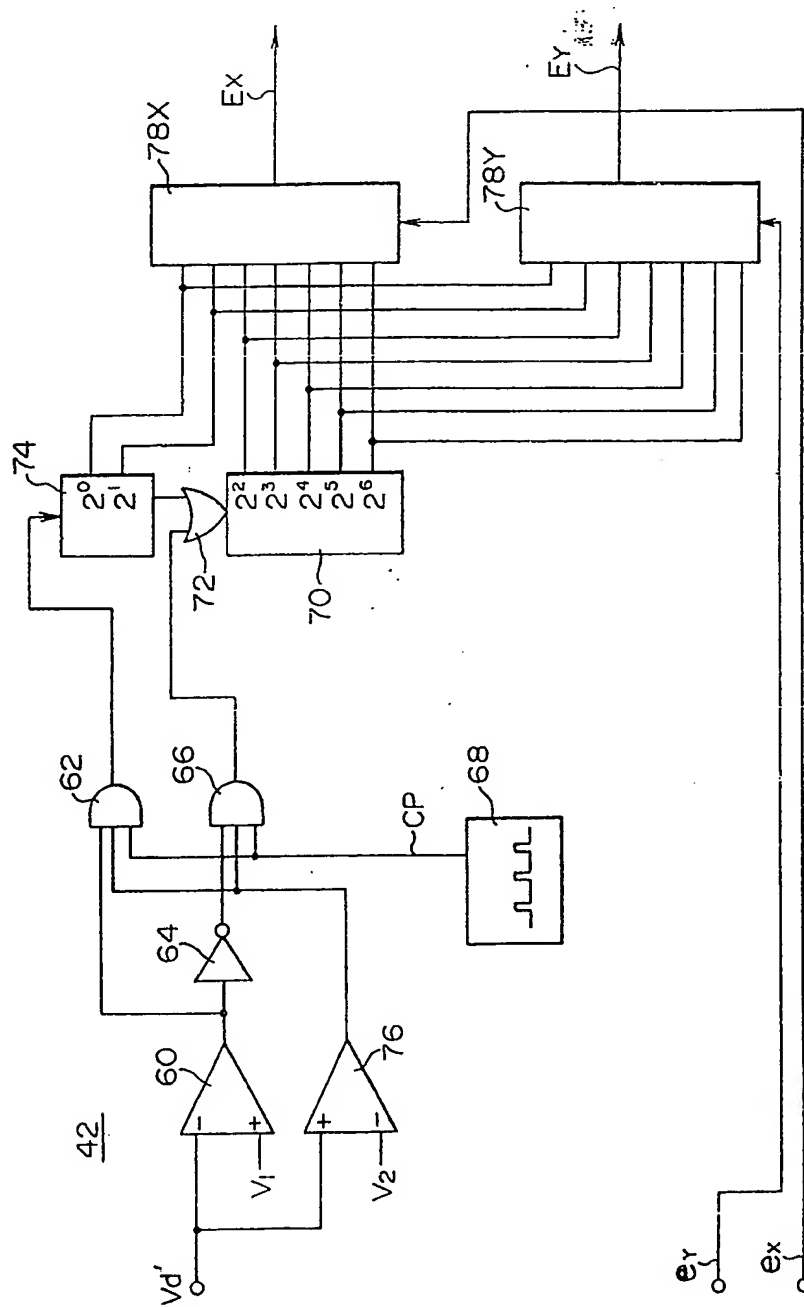


FIG. 10

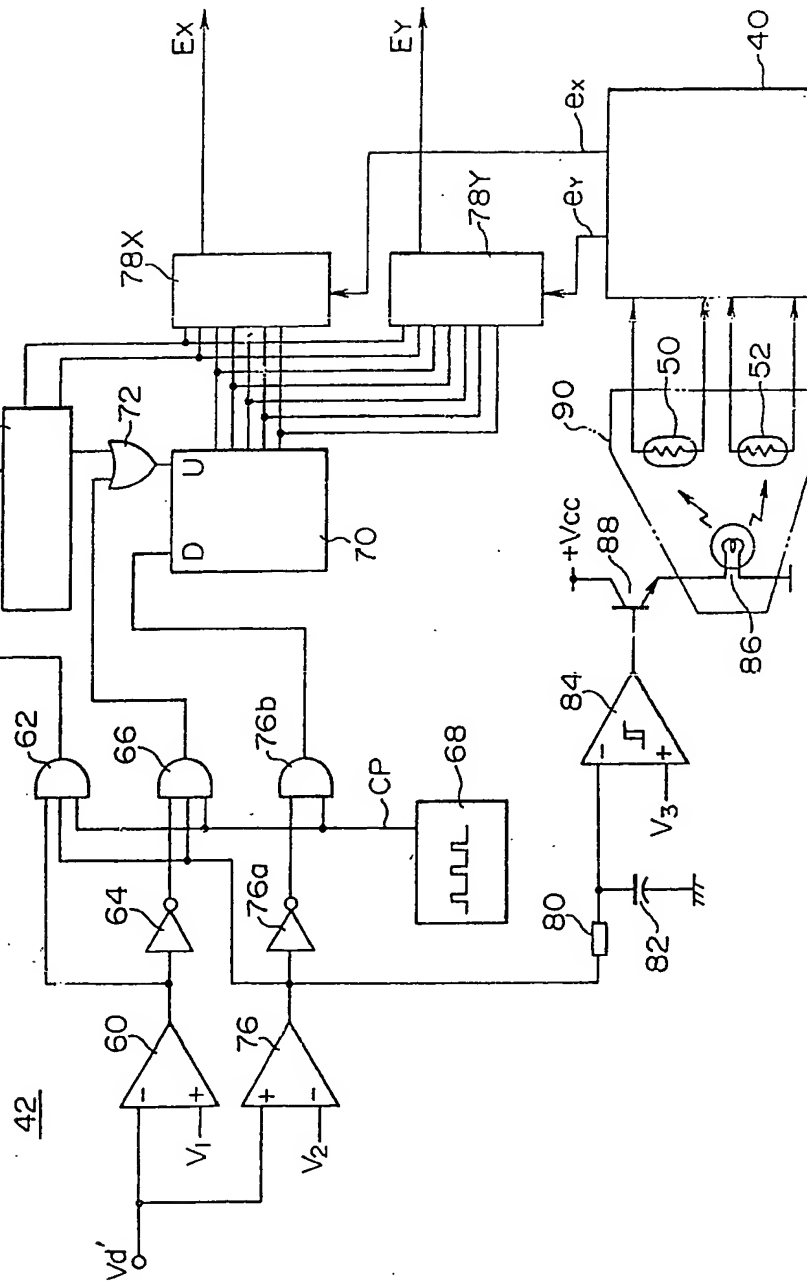


FIG. 11

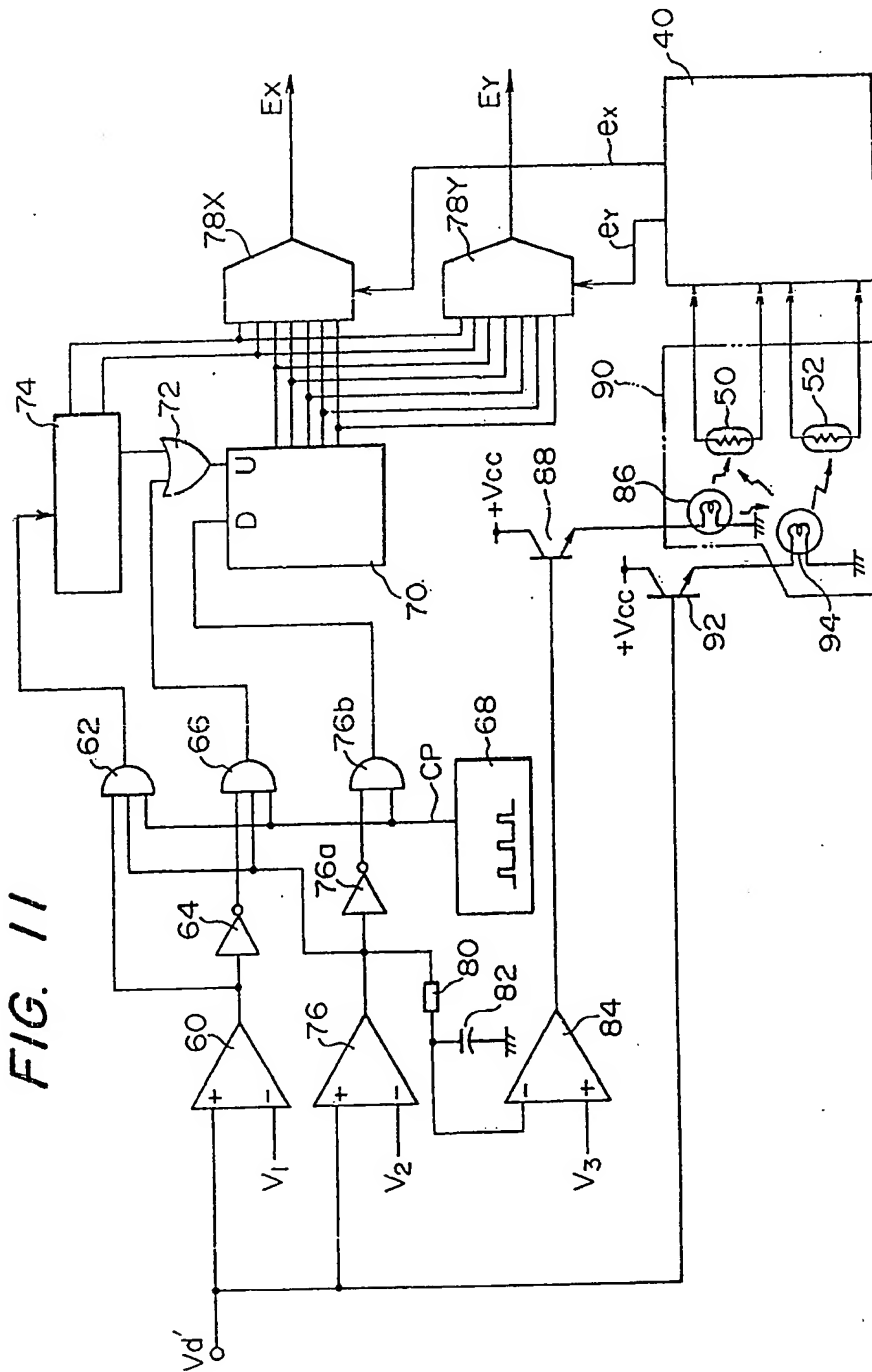
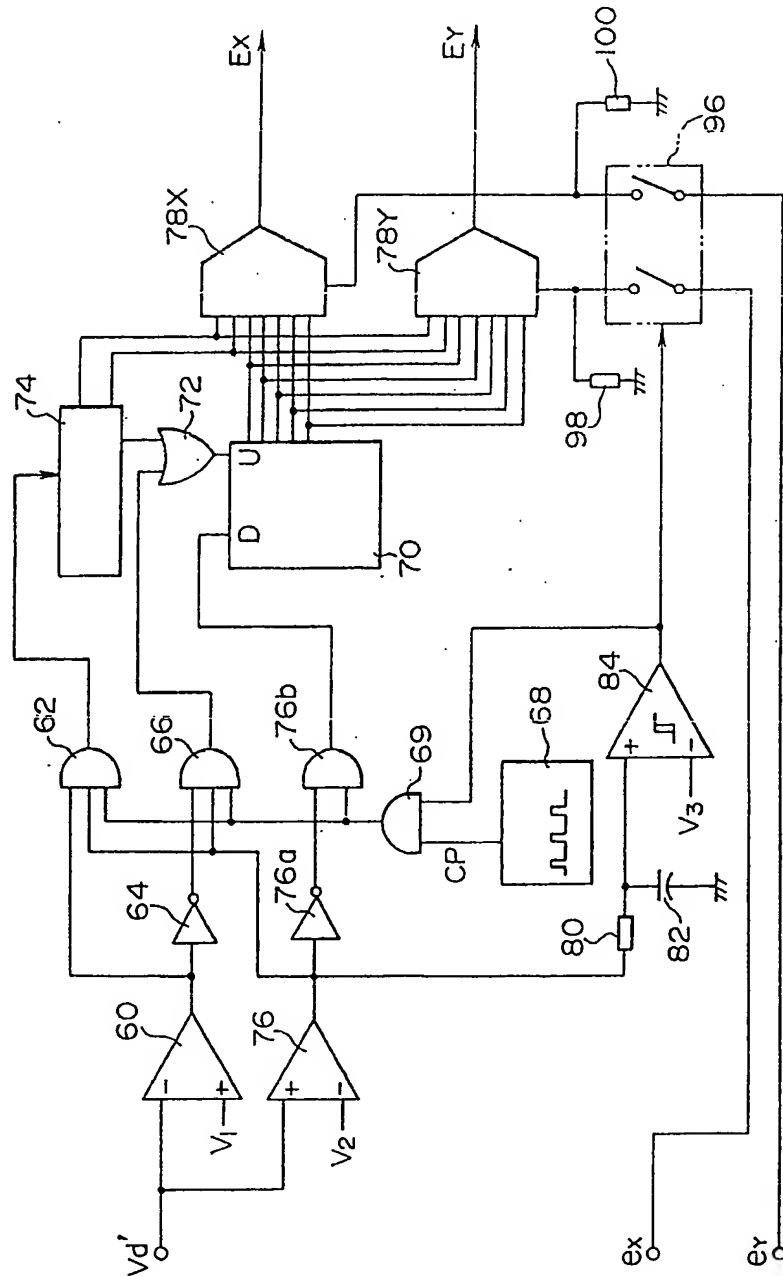


FIG. 12



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.